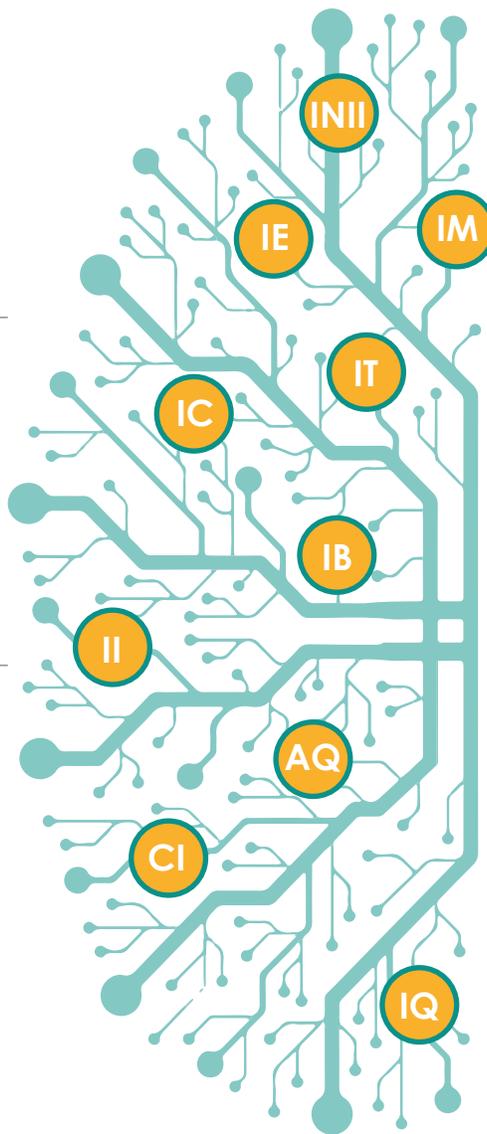


Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica

*Conectando la
ingeniería, la informática
y la arquitectura para el
beneficio de Costa Rica*



III JOR NADAS

DE

INVES TIGACIÓN

2021



FI
Facultad de
Ingeniería

INII
Instituto de
Investigaciones en
Ingeniería

Memoria de conferencias de las III Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería

26 al 28 de octubre de 2021

PERSONAS EDITORAS

Dr. Orlando Arrieta-Orozco

M.Sc. Karina Castro-Arce

Dr. Víctor Schmidt-Díaz

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Instituto de Investigaciones en Ingeniería



Esta obra está bajo una Licencia de Creative Commons. Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional

INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA EDITORIAL DEL VOLUMEN ESPECIAL

IEEE:

[1] O. Arrieta-Orozco, K. Castro-Arce, and V. Schmidt-Díaz, Eds., “III Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería 2021”. En *Volumen Especial Revista de Ingeniería*, 2022, pp 1-232. DOI 10.15517/ri.v32iNE2.50666

APA:

Arrieta-Orozco, O., Castro-Arce, K., & Schmidt-Díaz, V. (Eds). (2021). III Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería 2022. En *Volumen Especial Revista de Ingeniería*. Universidad de Costa Rica, pp 1-232. DOI 10.15517/ri.v32iNE2.50666

Diseño de portada: Julio Manuel Matamoros Alberty, arquitecto.

Diagramación: Marcela Quirós Garita y Melissa González Villalobos.

CEDAA - INII - FI

TABLA DE CONTENIDOS

Presentación	vi
Acerca de este Volumen Especial de la Revista de Ingeniería	viii
Acerca de las personas editoras de este Volumen Especial	ix
 TEMA I	
Vulnerabilidades y territorio	1
Evaluación de la vulnerabilidad social-ambiental. El turismo inmobiliario en sistemas sociales-ecológicos costeros	2
De lo privado a lo público. La función social de la propiedad en el reajuste de terrenos	6
Free Trade: Corporaciones transnacionales, grupos empresariales locales y arquitecturas globales	10
Ambiente construido y percepción de (in) seguridad: entre el espacio, memorias y narrativas.....	13
Una solución alternativa basada en la naturaleza para mitigar el riesgo por inundación en ríos urbanos	16
Fotogrametría para el análisis de zonas inundables mediante modelado hidráulico bidimensional	20
Metodología para estimar profundidades de inundación basada en la utilización de datos de LANDSAT8, SENTINEL-2, RADAR SAR (SENTINEL-1) y LIDAR	23
 TEMA II	
Transferencia Interdisciplinar	26
La riqueza de las ingenierías está en la diversidad de conocimiento	27
Resiliencia para el aprendizaje colectivo: aplicación a la Escuela de Arquitectura	30
Ética, equidad y responsabilidad: evaluación del atributo en el curso IB-0019 Ingeniería Ambiental	33
Experiencias del grupo de Ingeniería Aeroespacial para la formación de estudiantes de la UCR.....	37
Espacio doméstico y los roles de género. Un contraste entre la vivienda social en Costa Rica y Dinamarca durante 1950	40
Museografía virtual: lineamientos para el desarrollo de plataformas virtuales para museos costarricenses	43
Pruebas de desempeño vehicular, una oportunidad de investigación y desarrollo profesional	47
Franz Beer Chaverri. Una exploración histórica alrededor de la experimentación 1982-1994	50
Ciudad Aural: componentes sonoros en la transformación de la experiencia del espacio urbano ..	53
Puente peatonal entre fincas 1 y 2 Un ejercicio de diseño paramétrico	57
Mapa interactivo de edificaciones patrimoniales intervenidas durante manifestaciones en Centroamérica, en la década de 2010	61
 TEMA III	
Hábitats inteligentes, eficientes y sustentables	65
Evaluación de inductores en producción de celulasas por <i>Penicillium oxalicum</i> y raquis de plátano	66
Materiales secantes y pretratamientos en el proceso y producto del compostaje doméstico.....	70
Evaluación de la Digestión Anaerobia en dos etapas de los residuos de café	73

Metodología para el muestreo ambiental eficiente de nitrato en una finca bananera de Costa Rica	76
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de un conglomerante mediante pruebas experimentales, para su eventual uso en construcciones sobre la superficie lunar	79
Conversión de glicerol a ácido láctico mediante catálisis heterogénea en fase gas.....	82
Cinética del calentamiento del café con forma elipsoidal durante la torrefacciones.....	86
Desarrollo de métodos de inmovilización para perovskitas de haluro con bismuto en microreactores	91
Diseño y evaluación de un soporte estructurado para la degradación fotocatalítica de contaminantes emergentes.....	95
Propuesta de diseño de un Complejo Ecológico para el manejo de residuos agrícolas de piña	98
Análisis y diseño hidráulico para la conducción y el suministro de agua potable en la comunidad de El Manzano, Jericó de Desamparados.....	103
Hacia un ambiente térmico óptimo: estrategias para el diseño de aulas en climas tropicales	106
Metodología para analizar la degradación de madera estructural en atmósferas volcánica en Costa Rica	112
 TEMA IV	
Aplicaciones de modelos y prototipos	117
Ensamblajes: Proyectos ganadores, tendencias y paisajes tropicales en la Bienal Internacional de Arquitectura 1996-2018	118
Control de la orientación de un multirrotor	122
Análisis de estabilidad y diseño de un sistema no lineal con controladores PI	126
Análisis de estabilidad de un sistema no lineal con controladores PD inmune	131
Control de posición y velocidad de un “QUANSERQUBE-SERVO” Mediante el dispositivo MYRIOS	136
Diseño de un banco de pruebas para motores de combustión interna para la Escuela de Ingeniería Mecánica.....	139
Implementación de un prototipo de entretenimiento diseñado para población con parálisis cerebral en posición supina	143
Estimación de fuerzas externas sobre plataforma omnidireccional para un control seguro en interacciones humano-robot	147
Desarrollo de un robot humanoide de cuerpo completo para manipulación de objetos	154
Métodos de muestreo para la reducción del etiquetado en videos de tránsito	158
Detección de emociones en señales de habla utilizando Inteligencia Artificial.....	162
Implementación de un clasificador de señales de potencial de campo local utilizando redes neuronales.....	167
Lineamientos para crear herramientas que permitan a los niños de preescolar programar robots ..	171
Analizador de flujo de gases de bajo costo tipo Venturi para ventiladores mecánicos.....	175
Optimización multi-objetivo del diseño de resortes considerando diseño robusto.....	178
Modelado de rotura de presa viscoplástica por método WCSPH	181
Design Of Spring System For Biomechanical Machines	185
Diseño de una micro-red aislada para el Albergue Base Crestones - Parque Nacional Chirripó	189
Análisis de factibilidad para una micro-red eléctrica en el Parque Nacional Isla del Coco	193
Aplicación de micro-sincrofasores en sistemas de protección de redes de distribución eléctrica ...	196
Métricas de potencia y consumo en equipo computacional portátil bajo estrés mediante pruebas de desempeño	201

PRESENTACIÓN

Las Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica iniciaron en el año 2019 con el fin de divulgar la investigación que se lleva a cabo en esta área. Este evento se promueve tanto en el ámbito del personal docente, investigador y administrativo, como dentro de la población estudiantil de la facultad, que está formada por nueve unidades académicas y un instituto de investigaciones, además de centros de investigación afines. Para lograrlo, se ha propuesto la realización periódica de esta actividad dentro de nuestro calendario anual.

En cada una de las unidades de la facultad, se realiza investigación por parte del personal docente e investigador mediante proyectos inscritos en la vicerrectoría correspondiente, así como actividades relacionadas con la docencia, pasantías y vínculos con otras instituciones, tanto nacionales como internacionales. Además, se lleva a cabo investigación ligada a estudios de posgrado, participación en eventos como conferencias, simposios, investigación contratada, etc. Por otro lado, la población estudiantil investiga, dentro de los cursos de su plan de estudios, en talleres, trabajos finales de graduación, vinculación con proyectos y horas asistente, entre otros.

Sin embargo, hasta el año 2019 no se había planteado un espacio conjunto e integrador que permitiera la divulgación de resultados, que propicie no solo la difusión de los conocimientos y los aportes dentro y fuera de la universidad, sino también el establecimiento de colaboraciones inter, multi y transdisciplinarias, así como de alianzas estratégicas.

Siempre será necesario incrementar todas las formas posibles de realizar investigación en áreas tan relevantes para el desarrollo del país como lo son la ingeniería, la arquitectura y la informática, pero es igualmente importante divulgar los resultados alcanzados en dichas iniciativas. Por lo tanto, se pretende que estas jornadas representen esa actividad que promueva y fortalezca la investigación, además de que propicie la colaboración entre disciplinas y unidades.

Diversos estudios demuestran que hoy la investigación es la base para el desarrollo de la sociedad en los diferentes sectores. Dentro de sus funciones, se pueden citar: el descubrimiento de nuevos conocimientos científicos, el replantear modelos aplicados y el servir como herramienta para generar propuestas de prevención que resuelvan problemas existentes en la sociedad.

La universidad, insertada en el contexto actual, debe participar para reafirmar las funciones básicas del sistema de educación superior con políticas de investigación, desarrollo tecnológico e innovación, adecuadas para responder a las actuales condiciones y prioridades de desarrollo del país. En este sentido, es común observar que, en los países desarrollados, existe un fuerte nivel de inversión en investigación, desarrollo e innovación, factores estratégicos para mantenerse competitivos hoy en día.

Ese debe ser precisamente el rumbo a seguir: se debe integrar el conocimiento a la base productiva del país y esto se logra al invertir decididamente en fortalecer el desarrollo tecnológico, al promover la innovación empresarial y vincular los centros e institutos de investigación con las empresas. De ahí, la importancia de realizar actividades de divulgación como lo son estas jornadas.

Esta tercera edición de las Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería, con el lema: ***Conectando la Ingeniería, la Informática y la Arquitectura para el beneficio de Costa Rica***, se llevó

a cabo de manera virtual del 26 al 28 de octubre de 2021 y se presentaron cerca de sesenta ponencias en áreas temáticas muy diversas y amplias, tales como:

- Vulnerabilidad y territorio
- Transferencia interdisciplinar
- Hábitats inteligentes, eficientes y sustentables
- Aplicaciones de modelos y prototipos

Estas jornadas se complementaron, además, con charlas magistrales y debates en temas de gran actualidad como: inteligencia artificial, conversatorio sobre aguas, aplicación de metodología BIM (Building Information Modeling) en Costa Rica, explotación del entorno construido, entre otras.

Nos complace, entonces, presentar este segundo volumen especial dentro de la Revista Ingeniería, correspondiente a las ponencias presentadas en las III Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería y, de esta manera, contribuir con la divulgación de iniciativas generadas dentro de esta área del conocimiento.

ACERCA DE ESTE VOLUMEN ESPECIAL DE LA REVISTA INGENIERÍA

Este Volumen Especial es una memoria del congreso de las III Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica. Las jornadas se desarrollaron de forma virtual entre los días 26 al 28 de octubre de 2021. La contribución de resúmenes a este Volumen Especial fue voluntaria por parte de las personas ponentes, por tanto, en este se exponen 52 de 60 ponencias que fueron presentadas durante el evento. Esta memoria compila los resúmenes extendidos de las ponencias en las 4 áreas temáticas que fueron abordadas en las III Jornadas de Investigación.

Descargo revisión de pares

Al tratarse de un Volumen Especial acerca de las Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería, es importante aclarar que a las ponencias presentadas no se les aplicó la evaluación de pares académicos que se estipula en la Revista Ingeniería para artículos científicos.

Todos los resúmenes, ya sea en categoría persona profesora/investigadora o estudiante, fueron valorados por el Comité Organizador de las III Jornadas de Investigación, conformado por representantes de cada una de las unidades académicas que son parte de la Facultad de Ingeniería. La valoración para que las ponencias se consideraran fue, únicamente, una presentación oral de 15 minutos y se utilizaron los siguientes criterios:

1. Presentación de resumen extendido de máximo 1000 palabras.
2. Cumplimiento de formato según el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
3. Tema enmarcado en una de las áreas temáticas definidas para el evento.
4. Originalidad, claridad y precisión en la redacción para su facilidad de comprensión de acuerdo al público multidisciplinar del evento.
5. Síntesis de contenidos: problemática o situación a investigar, métodos, análisis o discusión, resultados.

Descargo imágenes

Es posible que la calidad de las imágenes expuestas en este Volumen Especial no sea la adecuada. En ese sentido se aclara que la contribución es exclusiva responsabilidad de las personas autoras participantes.

Plagio

Se realizó una revisión de los resúmenes aquí expuestos usando la plataforma *Turnitin*. Si el plagio fue detectado en alguno de los textos, las personas editoras invitadas tomaron la decisión de removerlo de este Volumen Especial. Aún así, debe aclararse que los textos son responsabilidad de cada una de las personas autoras y, como se menciona anteriormente, estos textos no pasaron por los filtros rigurosos establecidos para revistas científicas.

ACERCA DE LAS PERSONAS EDITORAS DE ESTE VOLUMEN ESPECIAL

Dr. Orlando Arrieta Orozco

Orlando Arrieta Orozco recibió los títulos de Bachiller y Licenciado en Ingeniería Eléctrica, de la Universidad de Costa Rica, en 2003 y 2006 respectivamente. En 2007 obtiene el grado de Máster en Ingeniería de Sistemas y Automática y en 2010 el de Doctor, ambos por la Universidad Autónoma de Barcelona, España, en el campo de Ingeniería de Control, donde también realiza luego un periodo postdoctoral. En el 2015 obtiene además el grado de Maestría en Administración con énfasis en Gerencia, de la Universidad de Costa Rica. Es profesor de la Escuela de Ingeniería Eléctrica e investigador del Instituto de Investigaciones en Ingeniería. Actualmente es Decano de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de Costa Rica.

Dr. Víctor Schmidt Díaz.

Licenciado en Ingeniería Civil por la Universidad de Costa Rica. Máster y Doctor en Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural por la Universidad Politécnica de Cataluña en Barcelona, España. El doctorado además lo obtuvo con Mención Europea, gracias a una pasantía realizada en el Instituto NORSAR en Noruega. Actualmente es investigador del Laboratorio de Ingeniería Sísmica, docente de grado y del programa de posgrado de la Escuela de Ingeniería Civil. Es el actual director del Instituto de Investigaciones en Ingeniería de la Universidad de Costa Rica.

M.Sc. Karina Castro Arce

Arquitecta y planificadora territorial. Realizó estudios de arquitectura en la Universidad de Costa Rica, y cuenta con una maestría en Gerencia de Proyectos de Desarrollo del Instituto Centroamericano de Administración Pública (ICAP). Egresada de la Maestría en Riesgos, Ciudades y Ordenamiento Territorial con énfasis en Política Pública de la Universidade do Porto, Portugal. Está concluyendo su investigación doctoral en Planificación Territorial y Medio Ambiente, en la Universidad de Groningen, Países Bajos. Es docente en la Escuela de Arquitectura y en el Posgrado de Gestión Integrada del Recurso Hídrico de la Escuela de Geografía; además es investigadora en el Instituto de Investigaciones en Ingeniería de la Universidad de Costa Rica.

PERSONAS MIEMBROS DEL COMITÉ CIENTÍFICO DE ESTE VOLUMEN ESPECIAL

Dr. Orlando Arrieta Orozco; Decano

Dr. Víctor Schmidt Díaz; Director INII

M.Sc. Karina Castro Arce, investigadora INII

Arq. Ana Grettel Molina Gonzáles, representante de la Escuela de Arquitectura

Dr. Mauricio Varela Sánchez; representante de la Escuela de Ingeniería Topográfica

Dr. Mauricio Espinoza Bolaños; representante de la Escuela de Ingeniería Eléctrica

Dra. Marta Montero Calderón; representante de la Escuela de Ingeniería de Biosistemas

Dra. Bárbara Miranda Morales; representante de la Escuela de Ingeniería Química

Dr. Adrián Lara Petitdemange; representante de la Escuela de Ciencias de la Computación e Informática

Dra. Alejandra Sánchez Calvo; representante de la Escuela de Ingeniería Mecánica

Dra. Johanna Méndez Arias; representante de la Escuela de Ingeniería Industrial

Dr. Sergio Lobo Aguilar, representante de la Escuela de Ingeniería Civil.

Tema I

Vulnerabilidades y Territorio

Evaluación de la vulnerabilidad social-ambiental. El turismo inmobiliario en sistemas sociales-ecológicos costeros

Social-Environmental Vulnerability Assessment. Real Estate Tourism in Coastal Social-Ecological Systems

Daniel Andrés Abarca Aguilar

Estudiante de la Licenciatura en Arquitectura, UCR

correo electrónico: daniel.abarcaaguilar@ucr.ac.cr

MSc. Karina Castro Arce

Escuela de Arquitectura / Instituto de Investigaciones en Ingeniería, UCR

correoelectrónico: karina.castro@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Índice compuesto, resiliencia, riesgo, turismo inmobiliario, vulnerabilidad ambiental.

Keywords:

Composite index, environmental vulnerability, real estate tourism, resilience, risk.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento del turismo como una de las principales actividades económicas de las zonas costeras ha traído consigo conflictos socioambientales que repercuten en el ambiente y en las comunidades locales [1]. Con la construcción de viviendas turísticas y la producción de infraestructura afín, se da la transformación de espacios naturales y cambios en el uso del suelo [1]. Una consecuencia social es la gentrificación del territorio debido a la especulación inmobiliaria y el aumento del valor de las propiedades [2]. Ambientalmente, las consecuencias se plasman en el estrechamiento de los ecosistemas, y con esto la pérdida de biodiversidad. Usando una perspectiva de sistemas sociales-ecológicos (SES por sus siglas en inglés), es posible evidenciar la relación interdependiente entre las sociedades humanas y los ecosistemas [3], donde las actividades humanas y el territorio se influyen recíprocamente. Un ejemplo es la relación entre la urbanización y el aumento en cantidad e intensidad de eventos relacionados al clima. Así, la condición de vulnerabilidad de los asentamientos humanos y la de los ecosistemas costeros está vinculada a los procesos sociales-ecológicos consecuentes con la producción inmobiliaria de turismo residencial [4].

Según nuestra investigación, existe escaso trabajo relacionado con las mediciones sobre el incremento de la vulnerabilidad social-ambiental (VSA) ante el desarrollo turístico-inmobiliario. Por lo tanto, el propósito de esta investigación es proponer una herramienta metodológica para estimar la VSA en SES costeros midiendo el impacto de la construcción turística residencial.

II. MÉTODOS

La herramienta metodológica que proponemos para determinar el índice de vulnerabilidad social-ambiental (IVSA), conjuga factores socioeconómicos, naturales, políticos y físicos para la elaboración de indicadores, identificando los componentes más críticos ante la amenaza existente [5]. Para el diseño del IVSA, se considera el marco analítico de los SES para identificar los distintos componentes del sistema, y poner en evidencia las interacciones entre lo social y lo ecológico. El SES focal es considerado como una unidad lógica; donde se da una afectación recíproca entre sus componentes y estos, a su vez, pueden ser afectados por influencias exógenas al sistema [6]. Se consideran cuatro componentes de primer nivel (fig. 1), correspondientes a Sistemas de Recursos, Unidades de Recursos, Sistemas de Gobernanza y Actores. Cada uno de estos componentes está compuesto por una serie de variables determinadas en un segundo nivel.

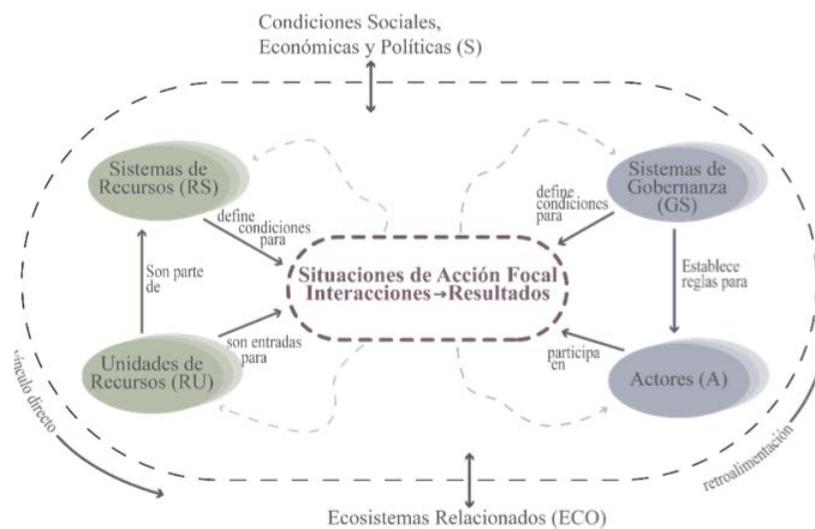


Fig.1. Diagrama del Marco Analítico del SES con múltiples componentes de primer nivel de McGinnis y Ostrom. Elaboración Propia.

Para la jerarquización de las variables establecidas en el marco analítico del SES, se utilizará el modelado de dinámicas de sistemas (SD), el cual puede ser utilizado en los SES para examinar los resultados de las interacciones y flujos entre distintos sistemas biofísicos y sistemas socioeconómicos [7]. Mediante diagramas de influencia se abordarán las interrelaciones entre los componentes del SES. Para la construcción de los indicadores, se implementará un Análisis de Componentes Principales (ACP) para cada indicador y un ACP global para encontrar las variables más influyentes sobre la VSA [8].

A manera de valorar la aplicabilidad de la herramienta para calcular el IVSA, se utilizará como estudio de caso la comunidad de Bahía Potrero Guanacaste. En dicha comunidad se ha presentado un alto interés turístico debido a la reciente producción inmobiliaria turística; como es el caso del Complejo Turístico Las Catalinas. Se utilizará una matriz de Bertin (REF) para la sistematización de la información del territorio, y se elaborará un mapa de vulnerabilidad global

donde se integren los resultados [8]. Para esclarecer los alcances y las limitaciones que posee la herramienta metodológica propuesta, se evaluarán los indicadores utilizados en el IVSA, y la influencia de la información disponible del territorio.

III. RESULTADOS ESPERADOS

Esta investigación espera tres resultados principales. Primeramente, se presentará el diseño de un Índice Sintético. Dicha herramienta metodológica integrará los distintos componentes de una manera concisa, de modo que resulte replicable y de fácil comprensión. Consecuentemente, se pretende obtener un levantamiento cartográfico con los valores de la VSA de los distintos sectores de Bahía Potrero. Mediante un mapa de vulnerabilidad global se podrá observar los distintos grados de afectación en el territorio ante la producción inmobiliaria turística. Finalmente, se aspira a una evaluación del IVSA para propiciar su correcta operatividad en futuras investigaciones. Para lo anterior, se presentarán tablas de evaluación de desempeño tanto de los indicadores utilizados en el IVSA y de la información pública disponible de Bahía Potrero para el entendimiento de los alcances y limitaciones de la propuesta metodológica.

El diseño del IVSA para SES costeros donde se mide el impacto de la producción inmobiliaria de turismo residencial se espera sea un importante aporte para la planificación urbana y la gestión territorial. A partir de las tendencias que se identifiquen en los resultados, podría llegar a ser considerada como una herramienta de análisis apta para la Evaluación de Impacto Ambiental y la Gestión de Riesgo aplicada en zonas costeras.

IV. REFERENCIAS

- [1] E. Blanco. “¿Testimonios de un Despojo? Desarrollo Turístico en Guanacaste y sus Impactos a Nivel Social y Ambiental, 1990-2016”, *Rev. Ciencias Sociales Universidad de Costa Rica*, vol. 155, no. 1: pp. 13-25, 2017.
- [2] E. Cañada y J. Gascón, “Urbanizar el Paisaje: Turismo Residencial, Descampesinización, Gentrificación Rural. Una Introducción”, en *Turismo residencial y gentrificación rural*. J Gascón y E. Cañada, Eds. Tenerife, PASOS, RTPC, 2016, pp. 5-36.
- [3] J. Heslinga, P. Groote y F. Vanclay, “Using a Social-Ecological Systems Perspective to Understand Tourism and Landscape Interactions in Coastal Areas”. *Journal of Tourism Futures*. vol. 3, no. 1, pp: 23-38, 2017.
- [4] O. Cardona, “La Necesidad de Repensar de Manera Holística los Conceptos de Vulnerabilidad y Riesgo. Una Crítica y una Revisión Necesaria para la Gestión”, Wageningen, Holanda, 2001.
- [5] M. Buch y M. Turcios, “Vulnerabilidad Socioambiental: Aplicaciones para Guatemala.” *Serie de Documentos Técnicos*, vol. 9, Mar, pp:1-23, 2003.
- [6] M. McGinnis y E. Ostrom, “Social-Ecological System Framework: Initial Changes and Continuing Challenges”. *Ecology and Society*. vol. 19, no. 2, 2014.
- [7] E. Sondoss, S. Pierce, S. Hammilton and A. Elmahdi. “An overview of the system dynamics process for integrated modelling of socio-ecological systems:Lessons on good modelling practices from five case studies”, *Environmental Modelling & Software*, vol. 93, pp: 127-145. 2017
- [8] A-C. Chardón, “Un Desafío Para el Desarrollo Urbano: Amenazas Naturales y Vulnerabilidad

Global Asociada. El Caso de la Ciudad de Manizales (Andes de Colombia)", *Taller Internacional Sobre Gestión del Riesgo a Nivel Local. El Caso de Manizales, Colombia*, pp. 1-25, 2004.

Reconocimiento: Esta reseña forma parte de la investigación del Trabajo Final de Graduación en curso titulado "Impacto de la Construcción Turística. Un Índice Sintético para la medición de Vulnerabilidad Social-Ambiental", cuyo equipo asesor son la arq MSc Karina Castro-Arce, la arq MSc. Lucía Riba-Hernández y el geógrafo Dr. Edgar Espinosa Cisneros.

De lo privado a lo público. La función social de la propiedad en el reajuste de terrenos

From the private to the public. The social function of property in land readjustment

Alejandro Alcázar Fallas

Estudiante de Maestría en Desarrollo urbano y gestión territorial, UCR

correo electrónico: alejandro.alcazar@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Espacio público; función social; propiedad privada; reajuste de terrenos; privatización.

Keywords:

Land readjustment; social function; public space; private property; privatization.

I. INTRODUCCIÓN

En el derecho contemporáneo la función social de la propiedad privada es concebida como una forma de establecer límites al derecho a la propiedad, y con ello procurar el bien común cuando sea necesario o cuando la propiedad pueda atentar contra él. Reconociendo la necesidad de procesos de renovación urbana, el instrumento del reajuste de terrenos (con reparto de cargas y beneficios), recientemente incorporado en la normativa nacional a través de la publicación del Reglamento de Renovación Urbana, se ve a este como una potencial vía para responder a la falta de espacio público, áreas verdes y áreas de recreación en las ciudades de Costa Rica. Esto apelando a su carácter innovador en nuestro contexto, así como específicamente a la función social de la propiedad privada, amparados en el marco normativo nacional vigente. Por lo tanto, a partir de una revisión de algunos conceptos como la función social de la propiedad privada, reajuste de terrenos y espacio público, se hace una puesta en valor del instrumento de reajuste de terrenos.

De esta manera, aquí se pretende entonces examinar las ventajas de esta herramienta en relación a su potencial para dotar de espacio públicos y equipamiento público a la ciudad, así como para mejorar los ya existentes, aprovechando además ciertas intenciones políticas y técnicas, nacionales y locales, que apuntan a la necesidad de mejorar la gestión del espacio público. Al mismo tiempo se busca realizar una problematización haciendo lectura de la utilidad de este instrumento en un contexto económico y social específico, que es Costa Rica en 2021. Para ello ese consideran principalmente las políticas de liberalización económica, donde la gestión del suelo, y en gran parte la posibilidad de lo público, dependen de los intereses económicos y la voluntad de los privados, lo cual conlleva que lo público se vea limitado e incluso amenazado por la privatización.

II. MÉTODOS

En términos generales se parte de una exploración del concepto de función social de la propiedad privada a la luz del marco jurídico costarricense, principalmente el relacionado a la planificación urbana, y con ello el suelo (la propiedad). Esto se acompaña de una revisión de tesis de derecho sobre este mismo tema en Costa Rica, y a su vez de una revisión bibliográfica, principalmente de artículos especializados (tanto nacionales como internacionales) en el reajuste de terrenos, que dan cuenta de este instrumento. Para ello se toma de punto de partida que los procesos de reajuste de terrenos tienen por base de acción el suelo en su condición de propiedad, y es en este matiz del derecho que es posible mejorar las condiciones de lo público en la ciudad.

Al mismo tiempo se revisa la idea de espacio público a partir de ciertos planes propuestos desde el gobierno central de Costa Rica, así como de informes que han dado cuenta de la situación actual en relación a este tema. Esto con el fin de especificar la situación en Costa Rica, y las posibilidades que existen al cruzar el alcance del instrumento del reajuste de terrenos con los conceptos jurídicos que le dan sentido, pero que no son del todo explícitos en el plano de lo técnico y lo político.

En un final se dará cuenta de las limitaciones que también existen en la relación entre lo privado y lo público, en donde la primera podría atentar contra la segunda a partir de las lógicas existentes en el plano de lo político y económico en nuestra sociedad. Para este aspecto se hace una breve revisión conceptual a partir de la teoría reciente sobre el tema, esbozando con ello un marco que pueda permitir pensar situaciones futuras en las ciudades de Costa Rica una vez ejecutados proyectos con reajuste de terrenos.

III. RESULTADOS

En tanto instrumento aún poco explorado en Costa Rica, el reajuste de terrenos se reconoce con un potencial aún no conocido en el país para la renovación urbana, y con ello la dotación de espacio público a la ciudad. Además, este instrumento es una vía para legitimar la función social de la propiedad privada, lo cual es de suma importancia ya que, a pesar de las políticas y planes que a nivel de gobierno central se han decretado desde la década anterior en torno al espacio público, las acciones afirmativas han sido limitadas, y este instrumento puede lograr materializar esas intenciones desde lo privado. En el plano del espacio público se pone de manifiesto la necesidad de explorar aún más las vías normativas con el fin de hacer viable y factible la producción de espacio público, sobre todo a nivel de leyes que permitan poner en práctica los planes y programas que así lo promueven. De igual manera, el particular enfoque que tiene el instrumento del reajuste de terrenos lo coloca en una posición en la cual beneficia principalmente las lógicas económicas y los intereses privados, lo cual, a pesar de sus bondades como instrumento de gestión del suelo, irónicamente lo sitúa en contra de la función social de la propiedad privada, y consigo de las posibilidades en relación al espacio público y el equipamiento público.

IV. REFERENCIAS

- [1] R. A. Jiménez Céspedes, «Normativa para la Gestión del Suelo Urbano en Costa Rica: El papel de la función social del suelo en el nuevo urbanismo de América Latina.», pp. 1-19, 2017.
- [2] R. A. Jiménez Céspedes, “Urbanismo e instrumentos de gestión del suelo en Costa Rica,” pp. 1-16.
- [3] R. A. Jiménez Céspedes, “Planificación urbana en Costa Rica. Apuntes sobre nuestra forma de hacer ciudad en el último siglo.,” 2017.
- [4] M. Delgado, “El urbanismo contra lo urbano. La ciudad y la vida urbana en Henri Lefebvre,” *Revis-tarquis*, vol. 7, n° 1, pp. 65-71, 2018.
- [5] M. C. Rojas Eberhard y B. E. Rave Herrera, “Reajuste de tierras en Medellín- Colombia,” Lincoln Institute of Land Policy, Medellín, 2013.
- [6] E. Duhau, “Espacio público y reconstrucción de ciudadanía”, en *Las megaciudades en el siglo XXI. De la modernidad inconclusa a la crisis del espacio público*. México D. F., México: FLACSO, 2003, pp. 137-161.
- [7] B. Secchi, *La ciudad de los ricos y la ciudad de los pobres*, Madrid, España: Catarata, 2015.
- [8] M. van Lidth de Jeude y O. Shütte, GAM(ISMO). *Cultura y desarrollo urbano en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica*, San José, Costa Rica: FLACSO Costa Rica, 2010.
- [9] N. Theodore, J. Peck y N. Brenner, “Urbanismo neoliberal: la ciudad y el imperio de los mercados”, *Temas sociales*, n° 66, pp. 1-11, Marzo 2009.
- [10] MIVAH, “Política Nacional de Ordenamiento Territorial 2012 a 2040”, San José, Costa Rica, 2013.
- [11] D. Harvey, *Diecisiete contradicciones y el fin del capitalismo*, Madrid, España: Traficantes de sueños, 2014.
- [12] C. Emilio Pradilla, *Los territorios del neoliberalismo en América Latina. Compilación de ensayos*, México D.F., México: Miguel Ángel Porrúa, 2009.
- [13] MIVAH, “Política Nacional de Desarrollo Urbano 2018-2030 y su Plan de Acción 2018-2022”, San José, Costa Rica, 2018.
- [14] R. A. Jiménez Céspedes, “De la urbanización a la intervención urbana estratégica: Instrumentos de planificación intermedia en Costa Rica”, *Revistarquis*, pp. 1-20, Julio 2016.
- [15] Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo, *Reglamento de renovación urbana*, San José, 2019.
- [16] Ley N° 4240. *Ley de planificación urbana*, San José: Diario La Gaceta, 1968.
- [17] Fundación Promotora de Vivienda, “Informe Nacional: Situación de la vivienda y desarrollo urbano en Costa Rica”, FUPROVI, San José, Costa Rica: FUPROVI, 2018.
- [18] A. F. Montero Marín, “La (in)disponibilidad del subsuelo en el campo urbanístico: análisis de su configuración y régimen jurídico”, Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2013.
- [19] O. E. Rojas Valverde, “El concepto de propiedad privada en Costa Rica y su desfase con el ordenamiento infraconstitucional”, Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2011.
- [20] León XIII, “Carta Encíclica Rerum Novarum”, 15 mayo 1891. [En línea]. Disponible en: https://www.vatican.va/content/leo-xiii/es/encyclicals/documents/hf_1-xiii_enc_15051891_rerum-novarum.html.
- [21] PLAN, MINAET, MIVAH, “Política Nacional de ordenamiento territorial 2012-2040”, San José, Costa Rica, 2012.

- [22] E. Duhau y A. Giglia, *Las reglas del desorden: habitar la metrópoli*, Ciudad de México, México: Siglo XXI Editores; Universidad Autónoma Metropolitana, 2008.
- [23] J. Borja, “El espacio público es la ciudad”, de *Las megaciudades en el siglo XXI. De la modernidad inconclusa a la crisis del espacio público.*, México D. F., México: FLACSO, 2003, pp. 59-88.

Free Trade Zones: Corporaciones transnacionales, grupos empresariales locales y arquitecturas globales

Free Trade Zones: Transnational corporations, local business groups and global architectural forms

Dra. Natalia Solano Meza

Docente e investigadora, Escuela de Arquitectura, UCR

correo electrónico: natalia.solanomez@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Arquitectura corporativa, arquitectura costarricense, empresas transnacionales, infraestructura, zonas francas.

Keywords:

Corporate architecture, Costa Rican architecture, transnational companies, infrastructure, free zones.

I. INTRODUCCIÓN

En 1990, el Régimen Especial de Zonas Francas (RZF)—un sistema de excepción y beneficios formulado para atraer la inversión extranjera directa— fue creado en el amparo de la ley número 7210 de la República de Costa Rica como parte de una serie de estrategias cuyo propósito era propiciar la inserción de la economía costarricense en el mercado global. Entendiendo a las zonas francas como unidades territoriales y haciendo uso de conceptos extraídos de disciplinas como la geografía histórica, las teorías de la arquitectura y la historia empresarial y política, este artículo examina algunas implicaciones de la creación del RZF en Costa Rica desde la perspectiva de las historias del entorno construido—un entorno determinado por la acción humana. A través del análisis de agentes, actores y espacios, la ponencia tiene por objetivo explorar las maneras en las que la creación del RZF introduce formas arquitectónicas y configuraciones espaciales globalizadas al territorio costarricense, a la vez que transforma dinámicas relativas al trabajo en arquitectura y a la industria de la construcción. Se pretende ofrecer un aporte al amplio debate acerca de los efectos de la globalización y la apertura de mercado en la transformación del territorio a escalas locales, regionales y también planetarias. La literatura académica especializada en temas económicos, políticos, empresariales e históricos en Costa Rica, y en general en América Latina, ha prestado atención al RFZ. Sería imposible no hacerlo. Sin embargo, parecen existir pocos estudios que aborden estas figuras desde la perspectiva del espacio construido y la arquitectura, lo que apunta a la pertinencia de este trabajo.

II. MÉTODOS

El trabajo se posiciona en el ámbito de las historias de la arquitectura y el entorno construido. Habiendo identificado este nicho, la investigación recurre a un conjunto de conceptos históricos, políticos, geográficos y en un sentido general, espaciales. Estos conceptos permiten precisamente entrelazar fenómenos territoriales, políticas económicas y configuraciones espaciales construidas, permitiendo también explorar la manera en la que la ciertos fenómenos globales torna más compleja la relación entre soberanía—en su acepción más tradicional— y territorio,[1–10]. Desde la perspectiva de relacionar historia con espacio, se examina el marco legal dentro del cual se constituye el RFZ, así como las formas arquitectónicas que en él se producen: parques industriales y de servicios, naves industriales, *call centers*, centros corporativos, oficinas, entre otros. El trabajo recurre al análisis visual hecho en campo, al análisis de texto, al análisis de la comunicación oral, al estudio de mapas históricos y de mapas producidos por entidades gubernamentales para trazar un abordaje general al problema de estudio, [11]. Como fuentes primarias, se han utilizado datos contenidos en sitios oficiales del gobierno de Costa Rica, artículos publicados en prensa, documentos y fotografías extraídos del Archivo Nacional de Costa Rica e información extraída de entrevistas y conversaciones confidenciales. Estos recursos han generado material de análisis propio, ver *figura 1*.



Fig. 1. Mapa en el que se ubica El Coyol Free Trade Zone y el Aeropuerto Internacional Juan Santa-maría, grupo de asistentes, 2021.

III. RESULTADOS PARCIALES Y ESPERADOS

La investigación, aún en curso, ha elaborado una sombrilla teórica y metodológica que permite un acercamiento a las implicaciones espaciales y territoriales del RFZ. El principal resultado del ejercicio es el establecimiento de una red de conceptos que permiten identificar patrones y tendencias en cuanto a las maneras en las que el RFZ afecta y transforma el entorno construido, abriendo paso a futuros trabajos. La investigación continua espera trazar o establecer la genealogía de las formas construidas vinculadas a las operaciones de compañías transnacionales

en Costa Rica, vinculando estas con aquellas ubicadas en América Central, el Caribe y en general en América Latina. Estos ejercicios generarán mapas de datos en cuanto a encadenamientos productivos, traslados de actividades, escalas y configuraciones espaciales similares en la región. Otras conexiones podrán realizarse con casos en países del Sur Global, sea en Asia o África, pues el estudio realizado para esta investigación apunta de manera definitiva a que las ZF son también sujeto de análisis en estas geografías. El establecimiento de conexiones amplias y de estudios en los que se borren barreras regionales acerca de las ZF resulta imperativo en un escenario marcado por el debate del Antropoceno, especialmente al tratarse de configuraciones espaciales altamente transnacionalizadas y de considerable impacto ambiental y económico a escalas locales y planetarias.

IV. REFERENCIAS

- [1] J. Agnew, "Globalization and Sovereignty," Lanham, Maryland: Rowman & Littlefield Publishers, 2009.
- [2] S. Castro Gómez, "Historia de la gubernamentalidad I: Razón de Estado, liberalismo y neoliberalismo en Michel Foucault," Bogotá: Siglo del Hombre Editores, 2015.
- [3] S. Dalby, "Anthropocene Geopolitics: Globalization, Security, Sustainability," Ottawa: University of Ottawa Press, 2020.
- [4] S. Elden, "Mapping the Present: Heidegger, Foucault and the Project of a Spatial History," London-New York: Bloomsbury Publishing, 2002.
- [5] S. Elden, "The Birth of Territory," Chicago, Illinois: University of Chicago Press, 2013.
- [6] S. Elden and J. W. Crampton, "Space, Knowledge and Power: Foucault and Geography," London: Taylor & Francis, 2016.
- [7] M. Foucault, "Nacimiento de la biopolítica: curso en el Collège de France (1978-1979)," 2007
- [8] M. Huxley, "Chapter 20: Geographies of Governmentality," in *Space, Knowledge and Power: Foucault and Geography*, London: Taylor & Francis, 2016,
- [9] J. N. Hyde, "Permanent Sovereignty over Natural Wealth and Resources," *The American Journal of International Law*, vol. 50, no.4, pp. 854-867,
- [10] B. R. Schneider, "Hierarchical Capitalism in Latin America: Business, Labor, and the Challenges of Equitable Development," Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- [11] J. Black, "Maps and History: Constructing Images of the Past," 1997

Ambiente construido y percepción de (in)seguridad: entre el espacio, memorias y narrativas

Built environment and fear of crime: between the space, memories and narratives

Karla Barrantes Chaves, Ph.D.

Profesora Escuela de Ingeniería Topográfica, UCR

correo electrónico: karla.barrantes@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Ambiente construido, Costa Rica, Memorias del espacio, Percepción del espacio, Temor al delito.

Keywords:

Built environment, Costa Rica, Fear of crime, Space's memories, Space's perception.

I. INTRODUCCIÓN

El temor al delito es un fenómeno complejo que involucra factores socio-psicológicos, socio-demográficos y socio-ambientales [1]. Puede definirse como el conjunto de sensaciones negativas asociadas a símbolos vinculados al crimen, las cuales envuelven una serie de reacciones en el organismo que alertan sobre un potencial peligro [2]. Esos símbolos podrían estar relacionados al ambiente construido, pero también podrían interpretarse de forma diferente según recuerdos, eventos pasados de victimización, género, edad, prejuicios personales o desigualdades sociales [3]. Esta ponencia explora los elementos asociados al ambiente construido que poblaciones del Gran Área Metropolitana de Costa Rica relacionan con riesgo al crimen. Además, este trabajo analiza factores intangibles de la ciudad relacionados a este fenómeno, por ejemplo: lugares donde hubo victimización, narrativas sobre un sitio, elementos sociales de apego al lugar y relaciones comunales. De modo que aborda la percepción de inseguridad más allá de las condiciones físicas del lugar, involucrando una serie de factores relacionados a memorias del sitio, narrativas, así como condiciones individuales de cada persona.

II. MÉTODOS

La metodología empleada consiste en estudios de caso mediante un análisis cualitativo, con algunos elementos cuantitativos. Se seleccionaron aleatoriamente ocho barrios de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica. Estos casos representan diferentes rangos de pobreza según el indicador de las Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) del censo de población más reciente (2011), las NBI indican si hogar cuenta con carencias en vivienda, salud, educación y acceso a bienes y servicios. Los métodos recolección de datos consistieron en: caminatas-entrevista con grupos de cada comunidad,

grupos focales, entrevistas a profundidad y observaciones, en total participaron 128 personas. Las caminatas-entrevista fueron rastreadas con GPS, el track del recorrido fue sincronizado con la grabadora de audio. La transcripción y codificación de dicha caminata se realizó mediante el software de análisis cualitativo Nvivo, posteriormente los códigos fueron georreferenciados usando ArcMap. El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en técnicas móviles cualitativas, permite capturar de una forma más precisa las percepciones del espacio que los métodos sedentarios [4]. Las transcripciones de los grupos focales también fueron codificadas utilizando Nvivo. La base de los datos empíricos se obtiene de las caminatas-entrevista y grupos focales, de modo que las entrevistas a profundidad y observaciones se utilizaron para triangular la información. El análisis de los datos se llevó a cabo mediante Análisis temático, que se caracteriza por su efectividad en la identificación de patrones [5]. Además, se empleó el Análisis de discurso para interpretar las narrativas más allá de su sentido semántico, ya que este método implica cierto nivel de abstracción [6].

III. RESULTADOS

El resultado del rastreo de las caminatas y georreferenciación de los códigos produjo una serie de mapas de percepción del entorno construido, introducidos por la autora como mapas de rastro de plática o talk's track maps, así como matrices de patrones. Los hallazgos sugieren que la relación entre el entorno construido y la percepción de seguridad varía con los niveles de desigualdad, de modo que una deficiente calidad de la infraestructura pública tiene una relación importante con sentimientos de ansiedad. Otros elementos de carácter temporal como el tráfico vehicular, vehículos estacionados y puntos de venta de drogas inciden en estos temores, independientemente del nivel de pobreza. Así mismo, elementos intangibles como familiaridad con el entorno, segregación residencial, falta de permeabilidad de la zona, memorias del lugar y victimización localizada, fueron elementos de la ciudad que también incidieron en estos miedos. Estos factores fueron analizados a la luz de las perspectivas tanto de hombres como mujeres, de modo que este trabajo analiza las diferencias y coincidencias según el sexo de las personas participantes. La ponencia busca contribuir con la investigación que relaciona el ambiente construido y el temor al delito, pero también llama a la reflexión sobre lineamientos de ordenamiento territorial que podrían implementarse con el propósito de reducir la percepción del delito en entornos urbanos y así mejorar la vigilancia natural de las ciudades.

IV. REFERENCIAS

- [1] Loukaitou-Sideris, A. (2012). 'Safe on the Move: The Importance of the Built Environment'. En: V. Ceccato (ed.). *The Urban Fabric of Crime and Fear*. pp.85–110. Dordrecht: Springer Netherlands.
- [2] Ferraro, K., & Grange, R. (1987). 'The Measurement of Fear of Crime'. *Sociological Inquiry*, 57(1), pp.70–97.
- [3] Gray, E., Jackson, J., & Farrall, S. (2011). Feelings and Functions in the Fear of Crime: Applying a New Approach to Victimisation Insecurity. *British journal of criminology*, 51(1), pp.75–94. (Gray, Jackson y Farrall, 2011).

- [4] Evans, J., & Jones, P. (2011). 'The walking interview: Methodology, mobility and place'. *Applied Geography* (Sevenoaks), 31(2), pp.849–858.
- [5] Braun, V., & Clarke, V. (2006). 'Using thematic analysis in psychology'. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), pp.77–101. (Braun y Clarke, 2006).
- [6] Starks, H., & Brown Trinidad, S. (2007). 'Choose Your Method: A Comparison of Phenomenology, Discourse Analysis, and Grounded Theory'. *Qualitative Health Research*, 17(10), pp.1372–1380.

Una solución alternativa basada en la naturaleza para mitigar el riesgo por inundación en ríos urbanos

A nature-based alternative solution to mitigate flood risk in urban rivers

Tito Guarnizo Rozo

Estudiante de la Escuela de Arquitectura, UCR

correo electrónico: tito.guarnizo@ucr.ac.cr

MSc. Karina Castro Arce

Escuela de Arquitectura / Instituto de Investigaciones en Ingeniería, UCR

correo electrónico: karina.castro@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Diseño paisajístico, infraestructura azul-verde, ríos urbanos, servicios ecosistémicos, sistemas urbanos de drenaje sostenible.

Keywords:

Blue-green infrastructure, ecosystem services, landscape design, sustainable urban drainage systems, urban rivers.

I. INTRODUCCIÓN

La práctica tradicional de drenaje urbano ha sido conducir agua pluvial hacia los cuerpos de agua usando infraestructura gris para canalizar cauces urbanos y redirigir con velocidad las aguas al sistema de alcantarillado encargado de recibir toda el agua superficial recolectada [1]. Un estudio realizado por el Ministerio de Ambiente y Energía y el Instituto Meteorológico Nacional menciona que a partir de 1970 comienza a sustituirse el uso de suelo agrícola por el urbano, aumentando la escorrentía superficial haciendo que el agua que se drena por los ríos sea mayor alterando los componentes del ciclo hidrológico natural [2]. El cambio de uso de suelo y la impermeabilización tienen como consecuencia inundaciones que han dejado atrapadas a personas en sus vehículos y hogares, y han provocado daños estructurales en viviendas de San José [3]. Otra consecuencia a considerar son los altos costos de mantenimiento, reparación de infraestructura y atención de emergencias. La práctica tradicional de drenaje puede contribuir a perpetuar estas consecuencias. Además, las fuentes de agua naturales se contaminan por el arrastre de hidrocarburos y otras sustancias desde la superficie de las calles; y en paralelo se bloquean los servicios ecosistémicos (SSEE) que típicamente se reciben de los ríos. Todas estas situaciones, provocan alteraciones en el hábitat y con esto pérdida de biodiversidad en los ecosistemas ribereños.

La mitigación del riesgo por inundación se puede atender mediante soluciones basadas en la naturaleza (SBN). Un ejemplo son los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), que procuran el mejoramiento de los servicios ecosistémicos (SSEE) y representan una opción para

reducir el costo de la infraestructura convencional y la asistencia por inundaciones y daños [4]. Los SUDS son infraestructura verde o azul que complementa o reemplaza la infraestructura gris tradicional. A partir de la situación descrita, esta investigación pretende responder la pregunta, ¿Cuáles soluciones basadas en la naturaleza se pueden integrar en el diseño paisajístico de un área ribereña urbana para mitigar el riesgo por inundación?

II. MÉTODOS

La presente investigación es de carácter exploratorio, ya que se pretende abordar situaciones relacionadas al deterioro del medio ambiente, sus causas, consecuencias y posibles soluciones alternativas para un sector determinado, no investigado previamente. Por esta razón, se utilizará la estrategia metodológica ‘investigación caso de estudio’ [5]. Esta estrategia es recomendada al indagar sobre fenómenos en su entorno real, en el que las fronteras entre el fenómeno y su contexto no son claras [6]. En esta investigación, para comprender el fenómeno y responder a la pregunta de investigación, se hace una fertilización cruzada de conocimientos. Se trabaja con un marco teórico para analizar una de las quebradas ubicada en el cantón de Curridabat, que alimenta el río Tiribí y su área de influencia.

La propuesta de investigación se compone de tres etapas. La primera etapa consiste en la construcción de los fundamentos teóricos para abordar la pregunta de investigación. Esta construcción teórica es el punto de partida para profundizar en el estudio de caso y generar un diagnóstico del sitio.

En la segunda etapa, se realiza una revisión de documentos municipales para generar pautas de diseño que incorporen el proyecto a la línea del proyecto de SBN “Ciudad Dulce” de la Municipalidad de Curridabat y su enfoque en la conservación de biodiversidad y regeneración de los SSEE. Se exploran, además, casos exitosos donde se hayan aplicado SBN para problemas de inundación y regeneración de cauces de ríos urbanos. Esta etapa concluye con una estrategia de diseño aplicada al sitio a intervenir. La estrategia, será plasmada gráficamente mediante un diagrama que explique su funcionamiento y las implicaciones espaciales de su implementación.

La tercera etapa corresponde a la aplicación de la estrategia anterior, mediante el diseño de una intervención paisajística en el sector del río escogido. Para esta etapa se utilizarán técnicas propias de la disciplina de la arquitectura como croquis y modelado digital 3D para la visualización espacial de la propuesta, además de los planos arquitectónicos correspondientes.

III. LOMAS DEL SOL: UN CASO DE ESTUDIO

El sector escogido como caso de estudio se encuentra identificado en mapas de la Municipalidad de Curridabat como un área con potencial de inundación. La propuesta paisajística se emplaza específicamente en el parque de Lomas del Sol junto al entubamiento del cauce de una de las quebradas que alimentan el río Tiribí, punto que presenta eventos de inundación periódicos. Curridabat está ubicado en una región vulnerable con densas áreas urbanizadas con poca o baja

capacidad de drenaje debido al estrechamiento de cauces, cuencas y microcuencas hidrográficas. Dichos cuerpos de agua son principalmente urbanos y presentan desequilibrios ambientales que causan inundaciones con intensidades cada vez mayor y periodicidades cada vez más cortas [7].

IV. RESULTADOS

Considerando los conceptos y la metodología planteada, esta investigación pretende tener como resultado la construcción de un marco de conceptos que inspiran guías e instrumentos para el diseño de alternativas basadas en la naturaleza para los sistemas urbanos de drenaje. El diseño de la intervención paisajística en el parque de Lomas del Sol, considerará los SSEE que aportan los ecosistemas ribereños como principal eje de diseño. El propósito es fomentar la conservación de la biodiversidad a través del mejoramiento del paisaje urbano y los sistemas de drenaje, transformando el lugar en un entorno que promueva una relación más amigable entre el río y su contexto inmediato. Esta investigación aportará información sobre el desarrollo y viabilidad de proyectos que incorporen SBN como una respuesta alternativa a las problemáticas socio-ambientales; en particular el riesgo por inundación en ríos urbanos.

V. REFERENCIAS

- [1] N. Gómez M, Sánchez H, Dolz J, López R, G.S. J. L, Cabrera E, Espert V, and P. J. Malgrat P, Curso de Hidrología Urbana, 5th ed., vol. 5, no. 9. Barcelona, 2004.
- [2] J. Solano Quintero y A. Villalobos Chacón, “Generalidades y Registros Climatológicos de las Tormentas Severas que han afectado la Microcuenca del Río Ocloro, en el área Metropolitana de San José. 1957 -2014,” p. 27, 2017, [Online]. Available: <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Informe+Técnico+Río+Ocloro>
- [3] MINAE; Ministerio de Salud; AyA, Política nacional de saneamiento en aguas residuales. 2016. [Online]. Available: <https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales marzo 2017.pdf>
- [4] G. F. Hougbo, Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2018: soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua. UNESCO, 2018. Accessed: Sep. 01, 2019. [Online]. Available: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261494>
- [5] Yin, R. K, “Case study research: Design and methods”, 2003.
- [6] P. C. Martínez Carazo, “El método de estudio de caso” El método de estudio de caso: Estrategia metodológica de la investigación científica, vol. N20, p. 29, 2006, [Online]. Available: http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/pensamiento_gestion/20/5_El_metodo_de_estudio_de_caso.pdf
- [7] Municipalidad de Curridabat, “Plan local de adaptación al cambio climático (PLCC) del cantón de Curridabat” Municipalidad de Curridabat, 2019.

Reconocimiento: esta reseña forma parte del proyecto de investigación de Trabajo Final de Graduación titulado Trabajando con la naturaleza: una solución alternativa para mitigar el riesgo por inundación en ríos urbanos, cuyo equipo asesor son la arq MSc. Karina Castro-Arce, el arq MSc. Oliver Schuette, y el arq MSc. Guillermo Chaves. Además, el TFG se enmarca

dentro del Proyecto de investigación B9513 PLANTSER – Planificación territorial y servicios ecosistémicos ribereños. Proyecto piloto en la cuenca del río Grande de Tárcoles, de la profesora Karina Castro-Arce.

Fotogrametría para el análisis de zonas inundables mediante modelado hidráulico bidimensional

Photogrammetry on floodplain analysis using two-dimensional hydraulic modeling

Saulo Richmond Solera

Docente, Escuela de Ingeniería Topográfica, UCR

correo electrónico: saulo.richmond@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Flujo bidimensional; fotogrametría; mapas de inundación; modelado hidráulico; zonas inundables.

Keywords:

Two-dimensional flow; photogrammetry; flood maps; hydraulic modelling; flood zones.

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta investigación es definir los niveles de inundación y la distribución de velocidades de flujo que podrían presentarse durante las crecientes asociadas a diferentes periodos de retorno, mediante un modelo hidráulico bidimensional basado en características morfológicas, hidrológicas, de uso del suelo y topográficas, estas últimas definidas por un modelo de elevación digital (DEM) obtenido por medio de fotogrametría. Como caso de estudio, se aplicó la metodología en la parte baja de la cuenca hidrográfica del río Aranjuez, en la provincia de Puntarenas, generando mapas de zonas de riesgo por inundación.

El modelado hidráulico bidimensional para la simulación del tránsito hidráulico de crecientes en territorios de baja pendiente, requiere de un DEM que describa detalladamente la topografía. En este tipo de espacios, las curvas de nivel con un intervalo de 10 m entre curvas se distancian horizontalmente en cientos de metros e incluso kilómetros, produciendo un DEM con grandes extensiones de pendiente constante ficticia y, en consecuencia, resultados irreales en la simulación.

II. METODOLOGÍA

La caracterización de la cuenca se realizó por medio de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los parámetros morfológicos indicados en [1]-[4] se definieron a partir de datos espaciales disponibles en [5] y [6], mientras que el uso del suelo actual se determinó empleando imágenes satelitales de [7], con un sistema de clasificación semiautomática y un proceso posterior de revisión y corrección de los resultados.

El DEM de la totalidad de la cuenca se generó a partir de curvas de nivel a cada 10 m, disponibles en [6], y para aumentar la precisión del modelo en las planicies de inundación, se realizaron levantamientos topográficos por medio de vuelos fotogramétricos, siguiendo el cauce del río. El uso de la fotogrametría para crear un DEM destinado a estudios hidrológicos ha sido probado previamente sin obtener diferencias significativas con respecto al uso de tecnología Lidar [8].

La estimación de los eventos extremos de precipitación está asociada a los registros históricos de las estaciones meteorológicas ubicadas en los alrededores del área de estudio, empleando análisis estadístico y los métodos de pérdidas del SCS (NRCS) y del hidrograma unitario sintético de Snyder, presentados en [1] y [3], para generar los hidrogramas de crecientes de manera sintética por medio del software de modelado hidrológico HEC-HMS.

A partir de los hidrogramas obtenidos se realizó el tránsito hidráulico de crecientes y el mapa de zonas de riesgo por inundación de la parte baja de la cuenca. El análisis de zonas de riesgo por inundación se ejecutó mediante el modelo de flujo bidimensional Iber, que contempla el amortiguamiento que pueden generar las rugosidades según el uso del suelo en la planicie de inundación, según lo describen [9] y [10], y se determinaron las áreas que presentan mayor peligro durante la inundación, en función de la profundidad del agua, la velocidad del flujo o la mezcla de ambos factores [11].

III. RESULTADOS

La cuenca hidrográfica del río Aranjuez se caracteriza por tener una forma alargada, que se complementa con el uso del suelo para ofrecer condiciones asociadas a una respuesta lenta ante eventos de precipitación, ya que en las partes alta y media de la cuenca el uso del suelo es mayoritariamente de bosques y pastizales, y en la parte baja de la cuenca se presenta un mayor aprovechamiento para cultivos.

Sin embargo, las partes alta y media de la cuenca presentan pendientes muy pronunciadas y los materiales que componen el suelo presentan una baja permeabilidad, favoreciendo la escorrentía superficial con altas velocidades en las laderas y en los cauces. En contraste, las condiciones topográficas en la parte baja de la cuenca son de terrenos sumamente planos, que amortiguan la velocidad y la energía del flujo mediante el ensanchamiento del cauce del río.

Los vuelos fotogramétricos permitieron generar un DEM de las planicies de la cuenca, conformado por celdas de 30 cm x 30 cm, a partir del cual se pueden obtener curvas de nivel con un intervalo de hasta 0,5 m entre curvas. Este nivel de detalle permite identificar de forma adecuada las zonas inundables por medio del modelado hidráulico bidimensional, no solo como extensión total del área de afectación, sino con la variación espacial de la profundidad del agua y de la velocidad del flujo, representadas en los mapas de zonas de riesgo por inundación.

IV. REFERENCIAS

- [1] V. T. Chow, D. R. Maidment, y L. W. Mays, *Hidrología aplicada*. Bogotá, Colombia: McGraw- Hill, 1994.

- [2] F. J. Aparicio, *Fundamentos de hidrología de superficie*. México, México: Limusa. 1992.
- [3] A. Serrano. Notas del curso IC-0808 Hidrología. (2013). IC-0808. San José, Costa Rica: Univ. de Costa Rica.
- [4] C. Brieva, “Caracterización de cuencas. Caracterización y análisis multidisciplinario de la información hidrológica en cuencas”, Inst. Nacional de Tecnología Agropecuaria, Mendoza, Argentina. PNAGUA - PE 1133022, 2018.
- [5] E. Ortiz-Malavasi, “Atlas de Costa Rica”. 2014. Distribuido por Tecnológico de Costa Rica. <https://hdl.handle.net/2238/6749>
- [6] *Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT)*, Inst. Geográfico Nacional. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.snitcr.go.cr/>
- [7] Imágenes satelitales Landsat-8 cortesía de U. S. Geological Survey, marzo, 2020. Disponible en: <https://usgs.gov>
- [8] O. O. Rodríguez, “Lidar vs. fotogrametría en la obtención de modelos digitales de elevaciones para estudios hidrológicos”, trabajo de fin de máster, Univ. de Salamanca, España, 2009.
- [9] E. Bladé et al., “Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos”, *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, vol. 30, no. 1, pp. 1-10, Ene. 2014, doi: 10.1016/j.rimni.2012.07.004
- [10] *Modelización bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas. Manual de referencia hidráulico*, Inst. Flumen, y GEAMA, España, 2014.
- [11] RD 9/2008, Modificación del Reglamento de Dominio Público Hidráulico, *Boletín Oficial del Estado*, Madrid, España, Ene. 2008.

Metodología para estimar profundidades de inundación basada en la utilización de datos de LANDSAT8, SENTINEL-2, RADAR SAR (SENTINEL-1) y LIDAR

Flood depths estimation methodology based on the use of data from LANDSAT 8, SENTINEL-2, RADAR SAR (SENTINEL-1) and LIDAR

Elena Chaves Chaves

*Docente Escuela de Ingeniería Topográfica, UCR
correo electrónico: elena.chaveschaves@ucr.ac.cr*

Palabras clave:

LANDSAT 8, LIDAR, PROFUNDIDAD, RADAR, SENTINEL 2.

Keywords:

LANDSAT 8, LIDAR, DEPTH, RADAR, SENTINEL 2.

I. INTRODUCCIÓN

Las inundaciones son eventos de gran importancia debido a sus impactos mayormente negativos en la vida humana, economía, salud, infraestructura, entre otros. En el caso concreto de España, las inundaciones son frecuentes y sus impactos socioeconómicos también teniéndose, de 1990 a 2010, un total de 312 fallecidos y contabilizándose unos 800 millones de euros al año por pérdidas materiales [1]–[3]. Es claro entonces que estos eventos tienen una alta incidencia en el desarrollo de una zona por lo que el análisis de su dinámica aporta información de utilidad para la mitigación de riesgos y debe de ser un insumo en la planificación hidrológica y del territorio.

En un evento de inundación, la altura de la superficie de agua con respecto al terreno es un parámetro fundamental a tener en cuenta en el control de avenidas, ya que determina el grado de inundabilidad del espacio [4]. En este sentido, la implementación de nuevas técnicas como la teledetección, se convierte en una herramienta de fuente de información para identificar y delimitar las zonas afectadas que complementa las tareas de reconocimiento realizadas in situ en los estudios de la inundación, por lo que se plantea como objetivo general el desarrollar una metodología basada en la utilización conjunta de datos obtenidos con satélites multispectrales (Landsat8, Sentinel-2), Radar SAR (Sentinel-1), y datos LIDAR para estimar las profundidades de inundación durante el evento extremo ocurrido del 13 al 16 de abril del 2018, en un tramo del río Ebro.

II. MÉTODOLÓGÍA

El área de estudio correspondió al tramo medio de la cuenca del río Ebro, más concretamente la zona situada entre las localidades de Novillas y Alagón, aguas arriba de Zaragoza capital, que fue afectada por la inundación producida el 13 de abril del 2018 en el río Ebro, como consecuencia de las intensas precipitaciones caídas en la zona y el aumento de los caudales del río causadas por el deshielo de la nieve acumulada en la parte alta de la cuenca [5].

Para el procesamiento de las imágenes RADAR se llevó a cabo con el programa SNAP creado por la Agencia Espacial Europea para el procesamiento de información satelital. Se utilizaron los productos de tipo GRD, es decir, *Ground Range Detected* y se siguió la secuencia procedimental que se muestra en la figura 1.



Fig. 1. Secuencia procedimental procesamiento de imágenes RADAR.

Con respecto a la imagen proveniente de Sentinel-2, y Landsat 8, una vez que se descargaron, por medio el programa SNAP, se aplicó el índice Normalized Difference Water Index (NDWI) el cual permitió delimitar las superficies que contienen agua, identificándose con valores positivos, mientras que cualquier otro elemento tendrá valores negativos en sus píxeles [6]. Su fórmula de cálculo es:

$$(NIR-BLUE)/(BLUE+NIR) \quad (1)$$

Donde, NIR: Infrarrojo cercano., y Blue: Banda azul.

Propiamente para estimar las profundidades de inundación se incorporaron los datos de elevaciones del terreno derivadas de datos LIDAR, se extraen las cotas de 6222 puntos a una equidistancia de 5m. Se determina la cota máxima por tramo y se aplica la fórmula que a continuación de detalla:

$$Profundidad=Cota\ Máxima-Cota\ en\ el\ punto\ n \quad (2)$$

III. RESULTADOS

Con respecto a la delimitación de las zonas inundadas, las diferentes imágenes evidencian la evolución del evento por medio de la cantidad de área cubierta. En el caso de RADAR, que corresponde al día inicial de la inundación se obtuvo un total de 3203 ha cubiertas de agua mientras que al día siguiente en la imagen Sentinel-2 ha se tienen 5469 ha, en tanto con Landsat

8 se observó que aún el día 19 de abril la inundación continuaba con unas 2043 ha concentradas mayoritariamente en la parte baja del tramo de estudio.

Propiamente en lo que se refiere a la estimación de valores de profundidad, los resultados alcanzados cumplieron con la precisión esperada de conformidad con la resolución, de 2 m, del modelo digital de elevación utilizado y según los niveles registrados en las estaciones de aforo en la zona. Esto a pesar de la presencia de elementos como puentes, los cuales producen distorsión de la señal del satélite, situación que debe ser analizada con detenimiento para cada caso, con el fin de determinar la calidad de los datos calculados. En concreto, los resultados mostraron que la mayor parte del tramo de estudio, específicamente el 70% del área total, posee valores entre los 0 y menor a 2 m de profundidad, mientras que el 29% se encuentra en un rango intermedio que va desde los 2 a menos de 5 m. En tanto el 1% restante de la superficie registra los datos máximos, es decir mayores 5 m.

IV. CONCLUSIONES

La metodología desarrollada, es válida en su implementación dado los resultados obtenidos. Sin embargo, es necesario recalcar la importancia de analizar cuidadosamente la presencia de objetos que puedan alterar la señal satelital para garantizar que el producto final se encuentre entre los valores de tolerancia deseados, que va a estar condicionada con el MDT utilizado. Además, conocer los valores de profundidad, puede tener distintas aplicaciones como por ejemplo mitigación de emergencias, cálculo de tasa de infiltración, manejo del excedente de agua en miras a recarga artificial de acuíferos o utilización para riego.

V. REFERENCIAS

- [1] A. Ma and A. Selgas, "Impacto de las inundaciones en España :," Universidad de Oviedo, 2012.
- [2] G. Benito Ferrández, "Riesgo de inundaciones: tendencias históricas y perspectivas de acuerdo con el cambio climático," *Cuaternario y Geomorfol. Rev. la Soc. Española Geomorfol. y Asoc. Española para el Estud. del Cuaternario*, vol. 20, no. 3, pp. 29–44, 2006.
- [3] Consorcio de Compensación de Seguros (CCS), "Estadística riesgos extraordinarios," 2020. https://www.conorseguros.es/web/documents/10184/44193/Estadistica_Riesgos_Extraordinarios_1971_2014/14ca6778-2081-4060-a86d-728d9a17c522.
- [4] C. Ferrer, "El sistema hidráulico del Ebro. Hidrología y Previsiones," 2012. <https://ifc.dpz.es/recursos/publicaciones/22/86/12ferrer.pdf>.
- [5] F. C. Conde and M. De Mata Muñoz, "Flood monitoring based on the study of Sentinel-1 SAR images: The Ebro River case study," *Water (Switzerland)*, vol. 11, no. 12, p. 2454, Nov. 2019, doi: 10.3390/w11122454.
- [6] S. K. McFeeters, "The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 17, no. 7, pp. 1425–1432, May 1996, doi: 10.1080/01431169608948714.

Tema II

Transferencia Interdisciplinar

La riqueza de las ingenierías está en la diversidad del conocimiento

The wealth of engineering is found in the diversity of knowledge

Jorge Alberto Bonilla Cedeño

Student and manufacturing Engineer. Escuela de Ingeniería Mecánica, UCR

correo electrónico: Jorge.bonillacedeno@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Eficiencia, ingeniería, transdisciplinariedad, polimatía, versatilidad.

Keywords:

Efficiency, engineering, transdisciplinary, polymathy, versatility.

I. INTRODUCCIÓN

Pensar en la industria del segundo cuarto del siglo XXI es pensar en una industria donde los conceptos de producción distan mucho de los conceptos que se llevaban como bastiones hace menos de cien años. La industria en la que se vive hoy y la que viene en un cortísimo plazo está llena de decisiones complejas, millones de datos que se pueden analizar, decenas de máquinas, rendimientos económicos, requerimientos de los clientes, relaciones interpersonales, trabajo en equipo, altos estándares de calidad y otras muchas variables, lo que conlleva a una necesidad: que quienes dirijan estas industrias a sus diferentes niveles jerárquicos estén a la altura, con conocimientos que les permitan tomar decisiones acertadas en situaciones complejas, lo que muchas veces requiere conocimientos transdisciplinarios. Los conocimientos que se necesitan son muy variados y son diferentes dependiendo del sector de la industria. Por lo tanto el objetivo de los profesionales y las universidades debería redirigirse y lograr generar mallas curriculares que abarquen temas tan diversos como ventas, estadística, mercadeo, programación, mantenimiento, diseño, finanzas, medicina, derecho y otros temas, eso sí, sin dejar de lado los conceptos básicos de las carreras.

Cuando se analiza la complejidad del quehacer de los profesionales en la industria, se comprende que los conocimientos unidisciplinarios son insuficientes para liderar y gestionar los proyectos que se nos proponen día a día. En temas ingenieriles es evidente que es necesario un conocimiento robusto en el área a desempeñar. Un edificio, un vehículo o un puente no pueden ser diseñados sin un estudio previo en ingeniería civil, mecánica, eléctrica y así respectivamente. Sin embargo, aun teniendo un conocimiento sobresaliente en un área específica, qué se hace con eso si no sabes cómo vender tu servicio/producto, o no se sabe cómo calcular el precio, las implicaciones gerenciales, manejo de persona, implicaciones legales, conocimientos en optimización de procesos o hacer análisis de mercados, simplemente no se puede ser exitoso.

De esta manera, identificar cuáles son las herramientas y conocimientos transversales y longitudinales que contribuyen a la construcción de un profesional completo, según los requerimientos actuales de la industria es una labor primordial para construir no solamente un mejor país, atractivo para las inversiones extranjeras por su calidad profesional, también es necesario para que los profesionales puedan tener un crecimiento profesional, personal, económico y social de manera que la identificación de estos parámetros es primordial.

Esto sin olvidar otros beneficios como la generación de nuevos conocimientos, la creación de nuevos productos y nuevos puestos de trabajo. Que el ser humano alcance planes como la conquista espacial, la cura de enfermedades que al día de hoy son mortales, nuevas posibilidades en los medios de transporte y hasta operaciones a pacientes remotas son posibilidades que dependerán de estos profesionales transdisciplinarios. Así entonces [1] menciona que es necesario considerar un enfoque transdisciplinar porque las ingenierías en cualquiera de sus énfasis integran conocimientos de diferentes áreas, involucra distintos enfoques y van más allá.

II. MÉTODOLOGÍA

La estructura está basada en una investigación bibliográfica de las principales metodologías que se usan en las industrias hoy en día para su desarrollo diario, contrastada con entrevistas realizadas en dos direcciones. La primera es dirigida a profesionales en diferentes ramas y de diversas empresas sobre cuáles son los requerimientos necesarios en la industria y la segunda, con profesionales en recursos humanos donde identifique las demandas satisfechas e insatisfechas en sus procesos de contratación, las capacidades más buscadas y las habilidades que proyectan para el futuro cercano.

Este análisis terminará con un diagrama FODA donde se presenten las principales fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que enfrentan las industrias según las capacidades de los profesionales disponibles en el mercado contra sus necesidades que requieren dentro de las organizaciones.

III. RESULTADOS ESPERADOS

Se espera que un análisis de este tipo arroje evidencia suficiente para determinar la necesidad de mejorar los conocimientos de los profesionales, especialmente en áreas de estudio transversales, por encima de la necesidad de una especialización vertical en una profesión, especialmente en áreas productivas de la industria. Además, se espera que el análisis pueda identificar ciertas combinaciones “claves” de conocimientos que puedan favorecer particularmente el desarrollo profesional en ciertos clústeres en los que el país ha venido desarrollándose, como, por ejemplo, industria médica, aeroespacial, semiconductores, desarrollos digitales o industria alimenticia.

Las relaciones que se esperan encontrar son tanto “inter-facultad” como de diversas facultades. Algunos ejemplos de combinaciones de estudios esperados son: en ingeniería con estudios en medicina, estudios en ciencias económicas combinados con ingeniería, estudios en alguna

ingeniería de manufactura con conocimientos en programación, análisis y gestión de datos, gestión de tecnologías de información o calidad, entre otras. Además estas combinaciones son importantes porque son las que satisfacen necesidades en mercados crecientes como el diseño de dispositivos médicos, el mantenimiento y gestión de los datos, Machine Learning o Deep Learning, Manufactura Lean y otros términos referentes de la Industria 4.0 y 5.0.

Otro de los resultados que se esperan obtener es identificar las principales carencias en lo que respecta a suplir las necesidades del mercado laboral actual, así como las herramientas, habilidades blandas, certificados y conocimientos más codiciados por los reclutadores. Herramientas como Inteligencia de Negocios (BI), “Big Data”, Seis Sigma puede que sean de las más requeridas.

Finalmente, los resultados deben ser útiles para potenciar los planes de estudio universitarios y técnicos en áreas STEAM, así como generar interrogantes como la necesidad de crear otras carreras o maestrías para suplir necesidades encontradas. Así como las habilidades blandas que se deben potenciar en los futuros profesionales como el trabajo en equipo, liderazgo, empatía, inteligencia emocional y trabajo enfocado en el cliente.

IV. REFERENCIAS

- [1] L. C. Torres Soler, «Transdisciplina e ingeniería», Rev. Vínculos, vol. 12, n.º 2, pp. 191–198, dic. 2015.

Resiliencia para el Aprendizaje Colectivo: Aplicación a la Escuela de Arquitectura

Resilience for Collective Learning: Application in Architecture School

Sofía Alexandra Trujillo Quesada
Estudiante de Licenciatura en Arquitectura, UCR.
correo electrónico: sofia.trujillo@ucr.ac.cr

MSc. Karina Castro Arce
Escuela de Arquitectura / Instituto de Investigaciones en Ingeniería, UCR.
correo electrónico: sofia.trujillo@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Resiliencia, metodologías participativas, metodologías interdisciplinarias, pedagogía, taller de diseño, sistemas complejos.

Keywords:

Resilience, participatory methodologies, interdisciplinary methodologies, pedagogy, design studio, complex systems.

I. INTRODUCCIÓN

Situándonos en el contexto de la Escuela de Arquitectura (EA) de la Universidad de Costa Rica en medio de la pandemia de Covid-19, la Universidad, y por tanto la EA, “debe contribuir en la búsqueda de soluciones para contrarrestar las implicaciones del COVID-19 en Costa Rica.” [1]. En esta investigación consideramos lo anterior como una oportunidad para formular estrategias de pedagogía en la arquitectura, tanto para que la institución desarrolle la resiliencia para afrontar futuros impactos o desequilibrios, como para que sea capaz de formar profesionales competentes en el diseño resiliente. Esta intención no solo es incitada por la pandemia y el cambio estructural que nos ha provocado, sino también por la crisis sistémica en la que el mundo está sumergido. En el presente trabajo asumimos que la coyuntura actual no será la última crisis a la que deberemos enfrentarnos y que, por lo tanto, abre un espacio de discusión sobre nuestra preparación como profesionales en arquitectura. Se propone un replanteamiento de nuestra práctica y docencia por medio de la resiliencia vista desde la teoría de la complejidad; ya que la arquitectura no solo responde a sistemas complejos, sino que ella en sí es un sistema complejo [2].

Recurrimos a la definición de resiliencia evolutiva de Simin Davoudi: La resiliencia evolutiva es más que resistencia, es la capacidad de adaptación y manejo del umbral de estrés [3]. También es conocida como resiliencia socio-ecológica, ya que reconoce sistemas complejos y propone despojarse de ciertos valores, factores y situaciones para ser capaz de transformarse y llegar al estado más “deseable” al enfrentarse a un shock externo [3]. La incorporación del cambio y de la

incertidumbre en la búsqueda de soluciones, y en el manejo de crisis, requiere de la colectividad y de un análisis más integral para el abordaje de las problemáticas complejas e interconectadas a las que estamos expuestos [3], [4], [5]. Para esto se propone la aplicación de metodologías participativas e interdisciplinarias para la efectiva inclusión del cambio y la incertidumbre. En esta investigación nos proponemos valorar cuál es la factibilidad de la aplicación de estas metodologías en uno de los cursos del Plan de Estudios actual de la EA y determinar cómo se puede mejorar la coordinación interna para llevar a cabo ejercicios de esta índole.

II. METODOLOGÍA

Exploramos el fenómeno de la resiliencia en un en el curso Estudio de Arquitectura I y II, incorporando metodologías participativas e interdisciplinarias que son poco abordadas en el curso. La estrategia metodológica que nos guía es la Investigación-Acción por su permisividad para la experimentación y su acercamiento al aprendizaje colectivo. “La investigación-acción es vista como una forma de investigación introspectiva combinada o colectiva. Su objeto es el mejoramiento de la racionalidad y la justicia en las prácticas educativas o sociales, pero al mismo tiempo ayudan a la comprensión de tales prácticas y de las situaciones en las que estas se producen” [6, p.152]. Mediante esta estrategia, se pretende colaborar con hacer ‘Taller’ a través de pequeños experimentos para explorar información sobre su funcionamiento, y evaluar la resiliencia de su estructura y la de los ejercicios de proyectos desarrollados en el Taller. Todo lo anterior para definir la viabilidad de aplicar metodologías pedagógicas participativas e interdisciplinarias en este contexto y su eficacia en el desarrollo de la resiliencia.

Para el desarrollo idóneo de este Investigación-Acción, será necesario el análisis a profundidad, tanto previo- como post-investigación-acción en el taller de diseño introductorio. El enfoque de esta investigación es cualitativo por su búsqueda de comprensión de las conductas que promueven las pedagogías y presuntos impactos que puedan llegar a darse. ‘Estas valoraciones se hacen a partir de una perspectiva subjetivista exploratoria puesto que “estudia a las variables o factores que podrían estar relacionados con el fenómeno en estudio, y termina cuando existe una clara idea de las variables relevantes y cuando ya se tiene información suficiente sobre el tema” [7, p.191].

III. RESULTADOS ESPERADOS

El presente proyecto se proyecta como una fuente de retroalimentación para nuestras estrategias pedagógicas y las consecuencias en nuestro abordaje a las problemáticas y situaciones de los sistemas socio-ecológicos en los que nos desenvolvemos. Además, busca exhortar a las instituciones de Educación Superior (específicamente la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Costa Rica) a tomar la batuta en esta tarea e integrar metodologías como la participativa y la interdisciplinaria en el plan de estudios para que como estudiantes aprendamos a aplicarlas y a trabajar en sus marcos metodológicos. Finalmente, pretende servir como referente de replanteo

de otros cursos del plan de estudio actual en la EA en función de una pedagogía más resiliente y preparada para enfrentar crisis futuras.

IV. REFERENCIAS

- [1] Universidad de Costa Rica, «Pronunciamento A Partir Del Decreto Ejecutivo De Declaratoria De Estado De Emergencia Nacional Ante La Pandemia COVID-19», 2020.
- [2] C. Villate and B. Tamayo, «La práctica de la arquitectura como racionalización sistémica», *Dearq*, no. 6, pp. 178-199, 2010, DOI: 10.18389/dearq6.2010.18.
- [3] S. Davoudi, «Resilience: A Bridging Concept or a Dead End?», *Planning Theory & Practice*, vol. 13, no. 2, pp. 299-333, 2012, DOI: 10.1080/14649357.2012.677124.
- [4] A. Bond, A. Morrison-Saunders, J. Gunn, J. Pope and F. Retief, «Managing uncertainty, ambiguity and ignorance in impact assessment by embedding evolutionary resilience, participatory modelling and adaptive management», *Journal of Environmental Management*, vol. 151, pp. 97-104, 2015, DOI: 10.1016/j.jenvman.2014.12.030.
- [5] C. Folke, T. Hahn, P. Olsson and J. Norberg, «ADAPTIVE GOVERNANCE OF SOCIAL-ECOLOGICAL SYSTEMS», *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 30, no. 1, pp. 441-473, 2005, DOI: 10.1146/annurev.energy.30.050504.144511.
- [6] L. Saltos-Rodríguez, L. Loor-Salmon and M. Palma-Villavicencio, «La Investigación: acción como una estrategia pedagógica de relación entre lo académico y social», *Polo del Conocimiento*, vol. 3, no. 12, p. 149, 2018, DOI: 10.23857/pc.v3i12.822.
- [7] J. Abreu, «Hipótesis, Método & Diseño de Investigación», *International Journal of Good Conscience*, vol. 2, no. 7, pp. 187-197, 2012, ISSN: 1870-557X.

Ética, equidad y responsabilidad: evaluación del atributo en el curso IB-0019 Ingeniería Ambiental

Ethics, equity, and responsibility: assessment of attribute in course IB-0019 Environmental Engineering

Juan Salvador Chin Pampillo

*Docente, Investigador. Centro de Investigación en Contaminación Ambiental (CICA);
Escuela de Ingeniería de Biosistemas, UCR.
correo electrónico: juan.chin@ucr.ac.cr*

Elsa Siu Lanzas

Docente, Investigadora. Escuela de Filosofía; Escuela de Formación Docente, UCR.

Ronald Aguilar Álvarez

Docente, Investigador. Escuela de Ingeniería en Biosistema, UCR.

Laura Brenes Alfaro

Investigadora, Centro de Investigación en Contaminación Ambiental (CICA), UCR

Palabras clave:

Acreditación, atributo de egreso, estrategia didáctica, justicia planetaria, transversalidad.

Keywords:

Accreditation, didactic strategy, egress attribute, planetary justice, transversality.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la acreditación implica el desarrollo de habilidades, competencias y/o atributos que no dependen de los conocimientos del área científica o el objeto de estudio de la carrera, entre ellos la ética. Si bien es un atributo necesario en los egresados de la carrera de Ingeniería Agrícola y de Biosistemas (IAB) de la UCR, este no se imparte en un curso específico en su plan de estudios, lo que provoca una limitante en el estudio y confrontación con la teoría filosófica. En su lugar, se ha optado por atravesar horizontalmente el currículo en la atención temática afín a los problemas éticos del ejercicio profesional cotidiano. Hacer la distinción etimológica entre ética y moral es complejo, más aún porque en la vida cotidiana no se separan claramente estos conceptos. Como afirma Cortina [1], estos términos refieren a niveles de reflexión diferentes: mientras en la cotidianidad vivimos según referentes morales, la ética reflexiona acerca de la moral vivida.

Después de los años setenta surgió la preocupación por la dirección que tomaba la sociedad, cada vez más tecnicista. En respuesta, la filosofía hizo un giro hacia la ética aplicada [1], para orientar, además de las acciones humanas en general, las decisiones profesionales desde sus particularidades en distintos ámbitos de la vida práctica. Puede decirse que la ética aplicada surgió de una “demanda social que viene de fuera de la universidad (de la academia)” [2]. Aspectos como el cambio climático y los problemas ecológicos son analizados desde la ética aplicada por la ética ambiental, originando el concepto de justicia planetaria [3].

El curso IB-0019 Ingeniería Ambiental pertenece al XIII ciclo del plan de estudios de la carrera de IAB, y mayoritariamente lo matriculan egresados del bachillerato. En él se introduce el concepto de ingeniería ambiental como herramienta para diseñar biosistemas sostenibles que interactúan con recursos limitados en el gran sistema que es el planeta. Además, se debe evaluar el atributo de egreso “ética y equidad” en su nivel avanzado. Esto supone un desafío curricular que exige diseñar una ruta de organización de las intenciones de aprendizaje. Una inclinación curricular por la transversalidad tiene la ventaja de sensibilizar sobre situaciones que requieren un cambio actitudinal o valorativo, a la vez que permite articular la preparación profesional en un ámbito científico determinado con las preocupaciones filosóficas de una época y sociedad. No obstante, tiene la limitación de que las intenciones formativas no alcanzan un nivel teórico-reflexivo profundo. La temática emerge del abordaje de los problemas del contexto en que se desempeñaran los futuros profesionales, y que afectan al colectivo inmediato: comunidad, país, región y mundo, pero cuya solución no pasa por lo científico, si no por la reflexión ética. La intención es que la persona estudiante logre convertir situaciones de la habitualidad cotidiana en problemas éticos.

El objetivo de este trabajo interdisciplinario fue diseñar y aplicar una estrategia didáctica para evaluar el atributo de egreso ética y equidad en el curso IB-0019 Ingeniería ambiental de la carrera de IAB, buscando establecer un nexo en cómo la filosofía contribuye a formar el carácter reflexivo y problematizador de la formación en IAB.

II. METODOLOGÍA

La estrategia didáctica se aplicó en el curso IB-0019 durante el I-2021, fue diseñada en el curso de didáctica universitaria del mismo semestre, y comprendió los siguientes elementos:

- Evaluación diagnóstica de conocimientos previos sobre ética, mediante un cuestionario en línea.
- Conversatorio sobre el reconocimiento de una situación ética. Se proporcionó una noticia [4] para generar discusión, y se presentaron los conceptos básicos del tema.
- Discusión en un foro sobre una situación ética. Se asignó bibliografía para lectura [3], [5] y se presentó un video [6] como generador de discusión.
- Diseño de una infografía sobre una situación ética. Se elaboró grupalmente sobre el eje temático que tenían asignado para el proyecto final del curso.

- Evaluación final sobre la comprensión de una situación ética, mediante un cuestionario en línea.

III. RESULTADOS

De previo la ética se consideraba que tiene que ver con el concepto del bien y el mal, o con comportamientos socialmente aceptados o considerados correctos, mientras que la moral, se refiere a un conjunto de normas o acciones para determinar lo que es bueno y malo. A pesar de que las respuestas fueron similares sobre ambos conceptos, el 94% consideraban que no son lo mismo.

En contraste, el posicionamiento final mostró un cambio en el entendimiento. Hay una mención generalizada a que la ética tiene que ver con la “reflexión sobre la práctica y que comprende también el “cuestionamiento de mis acciones”, tanto a nivel personal como de la sociedad como un conjunto. Sobre la moral, mencionaron que es “Una norma impuesta por la sociedad de qué es lo correcto o lo incorrecto”, entre otras. El 100 % consideró que la ética y la moral no son lo mismo.

Las infografías transmiten un mensaje claro y motivan a la reflexión, vinculando los temas de ética, equidad y responsabilidad con los ejes temáticos de los proyectos, incluyendo la identificación de mecanismos de evasión de la responsabilidad y frases cotidianas relacionadas con este tema. La estrategia didáctica fue percibida como interesante y que los conocimientos adquiridos serán útiles para el ejercicio profesional.

Puesto que el profesional en IAB se enfrenta cotidianamente a situaciones que sobrepasan la explicación científica y requieren de una reflexión ética, lo recomendable sería que, durante su formación, estos temas se aborden en un curso específico dentro del plan de estudios. Sin embargo, la inclusión de esta temática en las materias disciplinares, es un primer paso para sensibilizar sobre ética. La estrategia les permitió a las personas estudiantes, conocer temáticas que abordaron reflexivamente las consecuencias directas o indirectas de las decisiones que las y los profesionales en IAB toman en su ámbito laboral. Se considera que esta estrategia puede servir de guía para docentes de otras carreras de ingeniería que requieran evaluar, en algún grado, componentes de ética dentro de sus materias científicas.

IV. REFERENCIAS

- [1] A. Cortina. “El estatuto de la ética aplicada. Hermenéutica crítica de las actividades humanas.”, *Isegoría*, vol. 13, pp. 119-134, 1995
- [2] J. Pizzi, “Ética aplicada”, en *Pensamiento crítico latinoamericano. Conceptos fundamentales*, R. Salas, Ed., Santiago de Chile: Universidad Católica Silva Henríquez, 2005, vol. I, pp. 301-313.
- [3] J. A. Lecaros Urzúa, “La ética medio ambiental: principios y valores para una ciudadanía responsable en la sociedad global”, *Acta bioethica*, vol. 19, no. 2, pp, 177-188, 2013, <https://dx.doi.org/10.4067/S1726-569X2013000200002>
- [4] R. León Hernández, “Las faltas a la ética no se sancionan, la corrupción sí”, *Teclado Abierto, Delfino.CR*, 23 de junio de 2021. [en línea]. Disponible en <https://delfino.cr/2021/06/las-faltas-a-la-etica-no-se-sancionan-la-corrupcion-si>

- [5] E. R. Ramírez, “Mecanismos de evasión de la responsabilidad y otras reflexiones”, en *Ética, ciencia y tecnología*, E. R. Ramírez, M. Alfaro, Ed, Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica, 1999, 4 ed, pp. 37-47.
- [6] J. Furtado. *La isla de las flores*. (1989). Accesado el 14 de junio de 2021. [en línea]. Disponible: https://www.youtube.com/watch?v=TleU7_yqrpc and adaptive management», *Journal of Environmental Management*, vol. 151, pp. 97-104, 2015, DOI: 10.1016/j.jenvman.2014.12.030.

Experiencias del Grupo de Ingeniería Aeroespacial para la formación de estudiantes de la UCR

Experiences of the Aerospace Engineering Group for the training of students of UCR

Leonora de Lemos Medina

Investigadora, Escuela de Ingeniería Mecánica;

correo electrónico: leonora.delemos@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Aprendizaje colaborativo, cohería, GIAUCR, ingeniería aeroespacial.

Keywords:

Aerospace engineering, collaborative learning, GIAUCR, rocketry.

I. INTRODUCCIÓN

En el año 2014 se creó el Grupo de Ingeniería Aeroespacial (GIAUCR) como un espacio de reunión entre docentes y estudiantes de la Universidad que tuvieran interés en la Ingeniería Aeroespacial. Lo anterior ante el creciente interés de la población estudiantil por abordar temas relacionados, así como las iniciativas comerciales de nuestro país, que posteriormente se formalizaron con la creación del Costa Rica Aerospace Cluster, que actualmente reúne 36 empresas y genera más de 3000 empleos directos.

La cohería de alta potencia se convirtió en el elemento atractor, que permitió consolidar un grupo de trabajo docente y principalmente de estudiantes que han podido desarrollar gran cantidad de proyectos que han dado resultados académicos y profesionales tales como, participación destacada en concursos internacionales, certificaciones en cohería, presentación de artículos en Congresos internacionales, apoyo en actividades de divulgación de la ciencia y la tecnología, entre otros. Para formalizar esta iniciativa en la UCR, se formuló el proyecto de investigación: *Construcción y lanzamiento de un cohete de propulsión química que permita la interacción multidisciplinaria y genere interés en la ingeniería aeroespacial en la UCR, así como en estudiantes de secundaria por estudiar carreras relacionadas*. Posteriormente se incursionó en diseño y propuestas para satélites pequeños tipo cubesat y can sat, particularmente mediante la participación en eventos y concursos internacionales. En esta ponencia, presentaré los principales logros y resultados de este proyecto, que se formalizó en como un proyecto de investigación que buscó, mediante el diseño y construcción de un cohete, desarrollar habilidades y herramientas para las personas participantes del GIAUCR.

II. MÉTODOLOGÍA

El proyecto se desarrolló de una manera muy colaborativa y abierta, generándose un espacio en el cuál las personas estudiantes pudieron aprender y reforzar sobre diferentes temáticas relacionadas con la cohetería: fuselajes, propulsión, telemetría, sistemas de pruebas y mediciones, entre otros. En cada una de estas áreas se realizaron pruebas y prototipos que permitieron el desarrollo final de las misiones planteadas. Este trabajo se realizó en subgrupos de estudiantes, guiados por investigadores del proyecto.

Como complemento al proyecto de investigación se realizaron los Campamentos Aeroespaciales en 2015 y 2016, que permitieron poner en práctica los conocimientos adquiridos mediante el desarrollo de misiones que involucraron también estudiantes de secundaria.

III. RESULTADOS

Se diseñaron y construyeron todos los dispositivos y partes más importantes de los cohetes de alta potencia, tal como se había planteado. Este proceso, permitió no solo generar habilidades y herramientas técnicas a las personas que participaron en el proceso, mayoritariamente estudiantes, también desarrollaron y practicaron habilidades blandas que complementaron su formación.

Se ha generado un área de investigación y desarrollo que ha dado frutos tanto en desarrollo de trabajos finales de graduación, proyectos de acción social, proyectos de los cursos de las carreras, participación en concursos internacionales, etc. El crecimiento y posicionamiento de la Universidad de Costa Rica en esta área ha sido muy marcado bajo el liderazgo del GIAUCR.

También significó una propuesta pedagógica de enseñanza y aprendizaje, basándonos en los principios de autoorganización, participación colaborativa, “aprender haciendo y aprender sintiendo”, tal como lo ha propuesto la Ing. Sanchez, colaboradora del proyecto.

A continuación se presentan fotografías y figuras de los lanzamientos y algunas partes de los cohetes desarrollados.



Fig. 1. Estudiantes haciendo prototipos con fibra de vidrio.



Fig. 2. Motores diseñados y construidos.

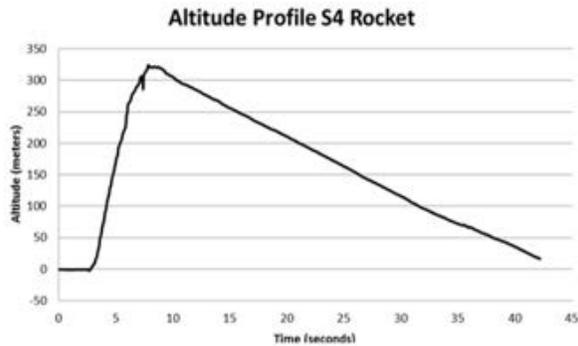


Fig. 3. Resultado de pruebas de altitud de cohete lanzado en 2016.

Fig. 4. Cohete lanzado en Campamento 2015. Fuente:ODI.

IV. REFERENCIAS

- [1] R.Aguilar. A. Mora, «Real-Time Data acquisition Platform using the OpenRocket Simulator» 67th International Astronautical Congress (IAC), Guadalajara, México, septiembre 26-30, 2016, IAC-16,D2,IP,3,x31914.
- [2] L. de Lemos. A. Mora, « Costa Rica Aerospace Camp 2015: Experiences and Results», 67th International Astronautical Congress (IAC), Guadalajara, México, septiembre 26-30, 2016, IAC- 16.E1. IP.9x33454.

Este documento fue elaborado bajo la licencia abierta Creative Commons en su modalidad Atribución-NoComercial-Compartir igual 4.0 Internacional

El espacio doméstico y los roles de género. Un contraste entre la vivienda social en Costa Rica y Dinamarca durante 1950

Domestic Space and Gender Roles: A Contrast between Social Housing in Costa Rica and Denmark in the 1950's

María de Mar Soto Cedeño

Estudiante de la Escuela de Arquitectura; UCR

correo electrónico: cedenosuaresdelmar@gmail.com

Palabras clave:

CIUDAD SATÉLITE DE HATILLO, complejo Bellahøjhusene, espacio doméstico, estado de bienestar, estudios de género, roles de género, dialéctica espacial, vivienda social.

Keywords:

Bellahøjhusene Complex, domestic space, gender roles, gender studies, Satellite City of Hatillo, social housing, spatial dialectics, welfare state.

I. INTRODUCCIÓN

Esta investigación en curso interpreta y compara el ámbito doméstico de los proyectos de vivienda social en la segunda mitad del siglo XX en Copenhague, Dinamarca y San José, Costa Rica. Se utilizan las teorías del espacio: la “dialéctica espacial” y los paradigmas de género para ahondar en las implicaciones del uso y la socialización dentro del escenario doméstico como contenedor. Se pretende una exploración de los proyectos desde un punto de vista teórico-histórico con dos enfoques, primero diseccionando las edificaciones individualmente y segundo, mediante un contraste entre el complejo Bellahøjhusene en Copenhague, Dinamarca y la Ciudad Satélite de Hatillo en San José, Costa Rica.

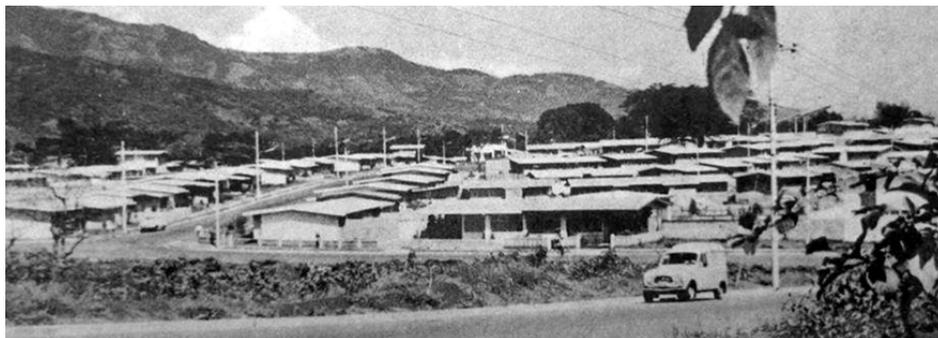


Fig 1. Vista panorámica de Hatillo 1. Fuente: INVU.



Fig 2. Vista aérea de la sección sur de Bellahøj. Fuente: Royal Library Archive.

II. MÉTODO

El espacio es una creación de múltiples capas y puede estudiarse utilizando la teoría “Trialecs of Space” (Trialéctica del espacio) del geógrafo estadounidense Eduard Soja, quien retomó las investigaciones espaciales de Henry Lefebvre, quien insistió en establecer las diferencias y contradicciones entre el espacio mental y el social, entre lo concebido y lo vivido, lo ideal y lo real. En ese contexto, construyó una tríada con niveles o modos de existencia del ser humano en el mundo: 1. Lo físico: lo sensible, lo percibido, la presencia. 2. Lo mental: lo abstracto, lo concebido, las representaciones. 3. Lo social: lo relacional, lo vivido, la experiencia. El tercer término, social, es una noción que engloba a los dos primeros ya que constituye la forma en que estos se relacionan [1]. La presente investigación se propone el estudio de cada espacio como una herramienta para comprender las divisiones existentes entre ellos.

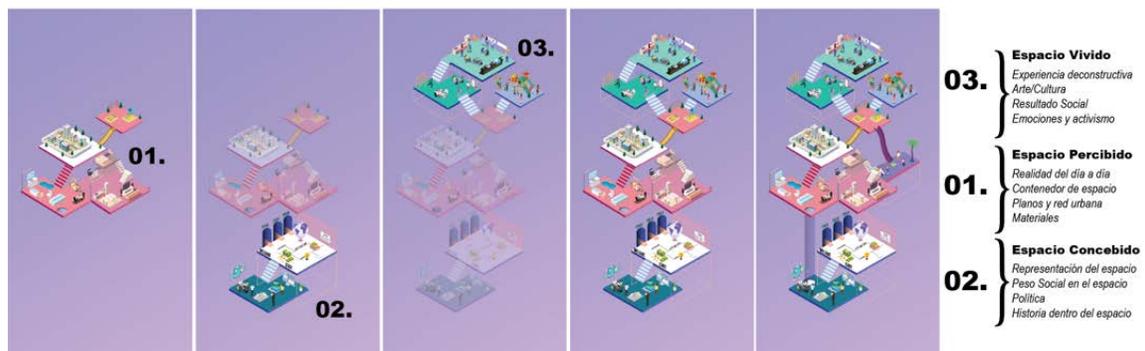


Fig 3. División de la Trialéctica Espacial.

El primer espacio es el estudio de la realidad cotidiana, el material concreto y la materialización de objetos medibles y empíricos como planos de planta y cuadrículas urbanas. El segundo espacio representa las relaciones socio-espaciales incrustadas en un espacio diseñado en la mente de los profesionales, así como la historia, la política, el contexto económico y social. El tercer espacio es el espacio vivido, la mezcla de espacios de concebir y percibir que resultan en imaginarios, símbolos, vivencias, arte, cultura, una deconstrucción de cómo se construye el espacio y cómo se nos impone [2].

III. RESULTADOS ESPERADOS

Este estudio formal del contexto de la época de 1950 en Costa Rica y Dinamarca y los respectivos complejos de vivienda social espera abordar el análisis del concepto de evolución del espacio a lo largo de la historia, ya que el espacio doméstico en la década de 1950 todavía tenía fuertes connotaciones sociales de heterotopía patriarcal, perpetuando patrones y estructuras de poder con la ayuda de la arquitectura, en este caso plasmado por los arquitectos del estado de bienestar.

Se espera establecer una comparación de los espacios domésticos analizando la disposición de zonas privadas y sociales, considerando los metros cuadrados totales y específicos en los espacios dispuestos para tareas domésticas, en comparación con la cantidad de habitantes en cada habitáculo. También profundizando en el uso del espacio doméstico, las oportunidades que tenían las habitantes femeninas dentro de los complejos, así como las instalaciones de servicios con las que contaban dichas viviendas.

El producto final busca ser una crítica a la arquitectura doméstica y su capacidad para reproducir patrones espaciales, generando una base sólida para enfatizar la necesidad de una reconstrucción de las fronteras espaciales clásicas con las que se idealizan y plantean los espacios domésticos. Crear una puerta de entrada para cuestionar cómo la arquitectura construye el espacio y las repercusiones que tiene sobre las personas usuarias.

IV. REFERENCIAS

- [1] P. De Stefani, "Reflexiones sobre los conceptos de espacio y lugar en la arquitectura del siglo XX." Digital Journal DU&P Diseño Urbano y Paisaje: 5 (16). 2009. [en línea]. Disponible en: http://dup.ucentral.cl/pdf/16_espacio_lugar.pdf
- [2] L. Xin & Z. Shangyi, "The Trialectics of Spatiality: The Labeling of a Historical Area in Beijing,» Sustainability, MDPI, Open Access Journal, vol. 10(5), pages 1-20, May. 2018. [en línea]. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/gam/jsusta/v10y2018i5p1542-d146006.html>

Museografía virtual : lineamientos para el desarrollo de plataformas virtuales para museos costarricenses

Virtual Museum: guidelines for the development of virtual platforms for the costarrican museums

Arq. Alejandra Méndez Ramírez
Estudiante de la Escuela de Arquitectura; UCR
correo electrónico: alejandra.mendez@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Arquitectura, educación, interacción, museo, virtual.

Keywords:

Architecture, education, interaction, museum, virtual.

I. INTRODUCCIÓN

El propósito de esta investigación, la cual se encuentra en proceso, es el desarrollo de lineamientos para el diseño de espacios virtuales, que serán utilizados por los museos costarricenses en el desarrollo de plataformas digitales y virtuales, mediante una documentación y análisis de conceptos y metodologías de áreas del diseño como la escenografía, el diseño de interacción y el diseño de experiencia. Los lineamientos buscan dar a las instituciones apoyo sobre estrategias y conceptos de diseño que ayuden a generar una mejor interacción con las personas usuarias y ofrecen posibilidades que pueden ser aplicadas a plataformas virtuales, páginas de internet entre otras, para que cada institución pueda generar sus propias plataformas, para permitir el acceso de personas de todas las localidades de Costa Rica y del mundo a una experiencia museográfica, buscando aumentar la relación entre museo y persona usuaria, promoviendo la comunicación e interacción entre institución, objeto y receptor. La meta es el desarrollo de espacios virtuales inmersivos que den a la persona usuaria una experiencia sensorial y un espacio virtual accesible a las colecciones, investigaciones, etc., sin importar la ubicación de la persona o la capacidad de movilizarse.

II. METODOLOGÍA

El espacio virtual de los museos es, hasta el momento, un espacio gratuito, universal y democrático, donde una persona puede acceder sin importar su localización o condición económica. Actualmente 10 museos relevantes a nivel global ofrecen caminatas virtuales gratuitas en línea (Business Traveller, 2020) que permiten simular una caminata en los museos, a partir de una colección de fotografías del espacio arquitectónico y poseen de igual forma un archivo digital de los objetos museológicos.

Los espacios virtuales no afectan la experiencia real en los espacios, al contrario, impulsan el interés de la población de visitar museos, cómo es el caso del Museo del Louvre y su página de redes sociales en Instagram (<https://www.instagram.com/museelouvre/>). Esta institución utiliza sus plataformas de redes sociales como extensiones digitales y virtuales de su espacio museográfico.

Se analizaron cinco museos nacionales del casco central de San José, los museos se seleccionaron por ser espacios relevantes en el ámbito cultural y artístico nacional, siendo pertinentes al buscar llevar los espacios culturales centralizados a la periferia del país. El Museo de Jade, el Museo Nacional y los Museos Banco Central de Costa Rica tienen la característica de mostrar objetos museográficos históricos, mientras que El Museo de Arte Costarricense y El Museo de Arte y Diseño Contemporáneo, se enfocan en arte. Se realizó un estudio de sus plataformas virtuales, analizando el nivel de interacción entre plataformas y personas usuarias, enfocándose en el archivo fotográfico, los medios audiovisuales, las aplicaciones interactivas y modelos virtuales.

Este análisis evidenció algunas de las carencias de los museos nacionales, cómo es la falta de registro fotográfico y de memorias de las exhibiciones temporales y permanentes, entre otras. De los cinco museos mencionados, el Museo del Jade (museodeljade.ins-cr.com, 2021) es el único que ha desarrollado un modelo virtual. Los Museos Banco Central de Costa Rica aunque no cuentan con un desarrollo virtual igual de avanzado que el Museo de Jade, cuentan con espacios físicos con un gran grado de interacción. Por esta razón se continuó trabajando con los otros tres museos, dos enfocados en arte y uno enfocado en historia; los tres museos tienen la característica de estar ubicados en edificaciones patrimoniales, condición que afecta su desarrollo espacial. Los cinco museos nacionales mencionados anteriormente, tienen un espacio virtual que se encuentra en proceso de desarrollo.

Los espacios virtuales museográficos son diseñados por grupos interdisciplinarios especializados en el diseño de Experiencia e interactivo y otras ramas. El trabajo con equipos especializados de diseño, en muchos casos no es accesible para muchas instituciones nacionales, quienes manejan de forma autónoma sus redes sociales, páginas web y plataformas virtuales. Por lo que se parte de la pregunta de investigación: ¿Cómo diseñar una museografía virtual, mediante un enfoque interdisciplinario, que genere un prototipo de utilidad para los museos costarricenses?

La implicación práctica de esta propuesta de investigación es el desarrollo de lineamientos para el diseño de espacios virtuales. Estos lineamientos son toda la información que se necesita para desarrollar un programa arquitectónico virtual e interactivo y que funcione como una guía para el diseño de sus espacios virtuales, de forma que, los museos puedan aplicar los lineamientos al desarrollo de espacios digitales y virtuales, para desarrollar una nueva vía de comunicación con la población costarricense.

Esta investigación se encuentra en la primera etapa de investigación, la cual se enfoca en la investigación de conceptos y metodologías de diseño en las áreas de la escenografía, el diseño interactivo y el diseño de experiencia, conceptos como la narrativa, ilusión óptica (Holdar, 2005), junto con conceptos como diseño centrado en el usuario y la interacción social. (Tidwell, 2011). Finalmente conceptos como la utilidad, factibilidad de búsqueda (Norman, 1988), entre otros.

En la segunda etapa se hará una recolección de datos del contexto físico. Aunque no es de interés reproducir el espacio físico real de los museos de forma digital, es relevante generar una relación visual entre la realidad física de los museos y el espacio virtual que se vaya a generar. El prototipo y los lineamientos no responden a un museo en específico, por lo que la recolección de datos se enfoca en recopilar información sobre el funcionamiento de los museos, la relación con las personas usuarias y con las obras museográficas o artísticas.

Estas visitas pretenden generar información como (1) mapa de movimientos de los visitantes (2) Cuadro de tiempos por salas de exhibición y obras, (4) gráficos comparativos de interacción, (5) Mapeo gráfico de las condiciones del espacio.

La tercera etapa busca desarrollar los lineamientos a partir de la investigación de conceptos y metodologías de diseño en las áreas mencionadas anteriormente, y en la etapa final se ponen a prueba los lineamientos en un prototipo virtual.

III. RESULTADOS ESPERADOS

Esta investigación busca generar dos resultados, una memoria de los lineamientos de diseño, y un prototipo de espacio virtual museográfico.



Fig 1. Espacios virtuales. Alejandra Méndez, 2021.

IV. REFERENCIAS

- [1] D, Norman. “El diseño de las cosas cotidianas”. New York, Estados Unidos: Basic Books, 1988.
- [2] J, Tidwel, J. (2011). “Diseñando interfaces”. New York, Estados Unidos: O’Reilly Media, Inc, 2011.
- [3] M, Holdar. “La escenografía de acción” . Stockholm, Suecia: Universidad de Stockholm, 2005.
- [4] R, Hickman. “A Glossary of Research Terms in Arts Education”. Bristol, Inglaterra: Intellect, 2008, p.187-196.
- [5] A, Maker. “These museums are offering free virtual tours”. BusinessTraveller.com <https://www.businesstraveller.com/business-travel/2020/04/02/these-museums-are-offering-free-virtual-tours/> (accesado en Diciembre 2020)

- [6] Museo de Louvre. [instagram.com/museelouvre](https://www.instagram.com/museelouvre) <https://www.instagram.com/museelouvre> (accesado en Febrero 2021)
- [7] Museo del Jade. museodeljade.ins-cr.com <https://mpembed.com/show/?m=oHB9A8Xs-Ro9&play=1&ts=2&lp=1&lang=es&guides=0&details=1&hdir=2&mdir=3&stats=4> (accesado en Marzo 2021)

Pruebas de desempeño vehicular, una oportunidad de investigación y desarrollo profesional

Vehicle Performance Testing, a Research and Professional Development Opportunity

Leonora de Lemos Medina

*Investigadora, Escuela de Ingeniería Mecánica; UCR
correo electrónico: leonora.delemos@ucr.ac.cr*

Sebastián Rodríguez Salazar

*Estudiante, Escuela de Ingeniería Mecánica; UCR
correo electrónico: sebastian.rodriguezsalazar@ucr.ac.cr*

Palabras clave:

Desempeño vehicular, dinamómetro de chasis, ciclos de conducción, evaluación de biocombustibles.

Keywords:

Vehicle performance, chassis dynamometer, driving cycles, biofuel evaluation.

I. INTRODUCCIÓN

Los países que no somos fabricantes o ensambladores de vehículos debemos asegurar que los que ingresen a territorio nacional cumplan con requerimientos mínimos que aseguren un adecuado desempeño mecánico, ambiental y de seguridad. En algunas ocasiones, se puede considerar la utilización de biocombustibles como complemento a los hidrocarburos o bien como sustitución completa. En Costa Rica, hemos tenido diferentes iniciativas desde hace algunas décadas para implementar mezclas de bioetanol o biodiesel con los hidrocarburos importados, por lo tanto, es de interés nuestro que estudiantes participen en investigaciones que determinen el comportamiento de los vehículos con estos combustibles o mezclas. En la Universidad de Costa Rica, hemos desarrollado una serie de pruebas que nos permiten evaluar el desempeño mecánico y ambiental de vehículos. Hace algunos años, solamente podíamos realizar mediciones de consumo de combustible y gases contaminantes, sin embargo con la reciente adquisición de un dinamómetro de chasis, hemos podido desarrollar y realizar también pruebas de torque y potencia de los vehículos evaluados. Así mismo hemos logrado mejorar las pruebas de consumo de combustible. Actualmente, existen muchos proyectos y posibilidades para desarrollar temas de investigación tanto para evaluación de vehículos con motores de combustión interna como vehículos eléctricos. Nuestro grupo también ha servido de apoyo para personas que han hecho propuestas de diseño de dispositivos que podrían mejorar la combustión y por lo tanto el desempeño de los vehículos, y que los han presentado a procesos de generación de patentes. El involucramiento de estudiantes en este tipo de estudios es muy importante

en nuestra universidad, así que se promueve la participación en Trabajos Finales de Graduación, así como en proyectos finales de cursos como Motores de Combustión y Termodinámica.

II. METODOLOGÍA

En esta ponencia se describen diferentes proyectos que se han realizado en la Escuela de Ingeniería Mecánica en esta línea de investigación. Se incluyen descripciones de proyectos y trabajos finales de graduación que se han desarrollado en los últimos años.

Las principales pruebas que se considerarán como desempeño vehicular son:

- Consumo de combustible
- Torque y potencia
- Emisiones contaminantes
- Otras varias mecánicas

III. RESULTADOS

Se describirán los resultados de diferentes proyectos de investigación y trabajos finales de graduación de licenciatura y de maestría. Estos incluyen comparaciones entre mezclas de biocombustible con diesel de petróleo, también una metodología para el desarrollo de un ciclo de conducción para la ciudad de San José.

Los primeros resultados se obtuvieron en mediante pruebas de campo, que resultaban con muchas variaciones debido a la importante dificultad para reproducir las pruebas en condiciones similares. Sin embargo, con la adquisición del dinamómetro de chasis de la EIM, se han podido mejorar considerablemente los resultados obtenidos en las pruebas.

A continuación se presentan fotografías y figuras con algunos de los principales resultados obtenidos en varios de los estudios.



Fig. 1. Montaje para pruebas de consumo de combustible



Fig. 2. Montaje de un sistema para medición de velocidad y distancia en carretera. Fuente: Raziel Sanabria.

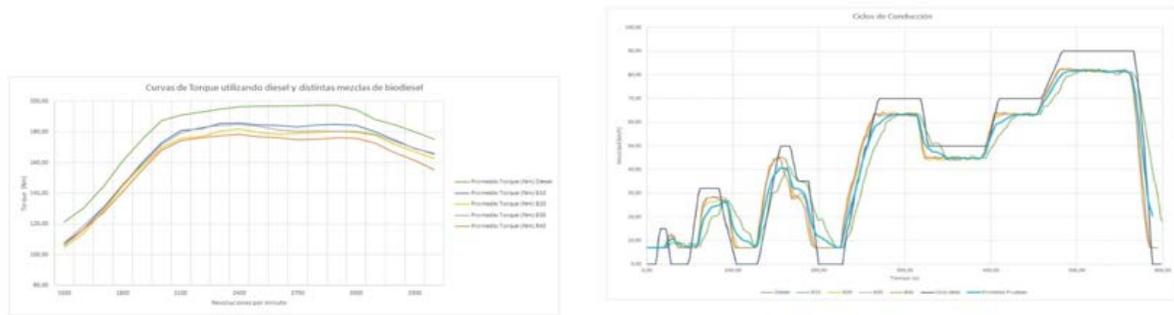


Fig. 3. Curvas de torque en pruebas en el dinamómetro de chasis. Fuente: Manuel Salas y Alonso Jiménez.

Fig. 4. Reproducción de un ciclo de conducción en dinamómetro. Fuente: Manuel Salas y Alonso Jiménez.

IV. REFERENCIAS

- [1] R.Sanabria, « Desarrollo y validación de un ciclo de conducción para la ciudad de San José de Costa Rica», Tesis de Maestría en Ingeniería Mecánica, Universidad de Cost Costa Rica, 2012. Rica, San José,
- [2] A. Jiménez y M. Salas, « Análisis del comportamiento de un vehículo propulsado por un motor de combustión interna por compresión con un combustible tipo Biodiésel», Tesis de Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2019.

Franz Beer Chaverri. Una exploración histórica alrededor de la experimentación. 1982-1994

Franz Beer Chaverri. A historical exploration around experimentation. 1982-1994

Jeremy Salazar Aguilar

Investigadora, Escuela de Arquitectura, UCR

correo electrónico: jeremy.salazar@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Escuela de Arquitectura, Franz Beer, ICESA, métodos de diseño, Taller de diseño Flux.

Keywords:

School of Architecture, Franz Beer, ICESA, Design Methods, Flux Design Workshop.

I. INTRODUCCIÓN

El trabajo¹ examina desde una perspectiva histórica la práctica arquitectónica del arquitecto Franz Beer Chaverri contenida entre los años 1982 y 1994, concentrándose en exponer los intercambios entre labor académica –temas y abordajes promovidos desde docencia– y la labor profesional –diseño de proyectos arquitectónicos–. La delimitación del trabajo responde a dos eventos:

En marzo de 1994 se celebró el Segundo Congreso Costarricense de Arquitectos en el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.[1] Este formó parte de una serie de esfuerzos que desde inicios de 1990 el Colegio de Arquitectos de Costa Rica (CACR) se había preocupado por efectuar con el fin de abrir la discusión acerca del papel de la profesión en el país. Para esto, el CACR invitó arquitectos de reconocida trayectoria en el territorio costarricense para que aportaran a la discusión. Entre ellos se encontraba el arquitecto costarricense Franz Beer Chaverri (1937-).

Para 1994, Beer acumulaba aproximadamente veintiocho años de ejercicio profesional y veintidós años de experiencia docente. La carrera profesional de Beer inició en 1966 cuando tras graduarse en la Escuela Nacional de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México se unió a la empresa consultora ARTEC. Luego, en 1971 Beer trabajó en la empresa consultora ICESA. En ese mismo año, la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Costa Rica inició operaciones, institución en la que estaba contemplado como docente. Sin embargo, antes de iniciar su labor docente, en el año 1972 viajó a Londres para cursar una especialización en el *Development Plannign Unit of the University College of London*.

¹El desarrollo del trabajo final de graduación estuvo inscrito en el proyecto de investigación B8A46 que lleva por título “Disidencia en la práctica. Un estudio acerca de posibles intersecciones entre producción y enseñanza de la arquitectura en la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Costa Rica.” desarrollado por Natalia Solano Meza. Gracias a esto, el trabajo fue uno de los seleccionados en la convocatoria del fondo de apoyo para Trabajos Finales de Graduación para el año 2020 de la Vicerrectoría de Investigación de Universidad de Costa Rica.

Así, cuando en 1973 regresó a Costa Rica, asumió el cargo de coordinador de “nivel horizontal” en la primera escuela de arquitectura del país. Desde este momento, su ejercicio profesional se entrelazó de manera íntima a su labor docente.

El intercambio entre su trabajo en ICESA y en la Escuela de Arquitectura se acrecentó con los años. Como resultado, en 1982 Beer presentó ante la Escuela de Arquitectura el documento titulado “Programación y sustento filosófico del taller Flux”[2] en el que planteaba la apertura del taller de diseño *Flux*.² En consecuencia, en 1982 Beer asumió la dirección del Flux. Simultáneamente, ese mismo año asumió la dirección de la empresa ICESA. En conjunto, estos dos eventos marcan el inicio del periodo de estudio del presente trabajo debido a que a partir de este año su práctica arquitectónica estuvo enfocada en tratar de desarrollar una estrategia proyectual capaz de provocar el “cambio” en la arquitectura.

En cierta medida, la ponencia presentada por Beer durante el Segundo Congreso Costarricense de Arquitectos era producto del constante intercambio entre ICESA y el Flux. La conferencia se tituló “Configurando una arquitectura costarricense”. [3] Sus palabras eran el resultado de poco más de una década de esfuerzos por abordar el problema del método de diseño en la arquitectura. Es a causa de esto que este evento marca el final del periodo de estudio del presente trabajo. Se considera que es posible entender la estrategia proyectual delineada por Beer en el evento como una especie de corte significativo de su carrera.

II. MÉTODOS

El trabajo se elabora a partir de la triangulación de fuentes orales, fuentes documentales (escritas y gráficas) y la revisión de referencias bibliográficas. Para la construcción del trabajo la “entrevista en profundidad semiestructurada” constituyó la principal herramienta para la captura de información. Este tipo de entrevistas adoptan el formato de una conversación natural y se plantean a partir de un conjunto de temas o sugerencias de conversación que el interlocutor propone en conformidad con los objetivos de la investigación. Es transversal al trabajo la premisa de que las fuentes orales son en un sentido metodológico un recurso indispensable para el estudio de las historias de la arquitectura de la segunda mitad del siglo veinte en Costa Rica. Por esta razón, se conversó con Beer al menos en diez ocasiones vía telefónica y en dos ocasiones de manera presencial entre setiembre del año dos mil diecinueve y julio del dos mil veintiuno. Además, es importante mencionar que se conversó con los arquitectos Asdrúbal Segura, Sebastián Alfaro y Eugenia Solís, debido a que ellos acompañaron a Beer durante algunos en sus ejercicios. Por otro lado, a estas fuentes orales se deben sumar un cuaderno de apuntes con algunas reflexiones sobre la arquitectura y el taller Flux preparado por Beer durante los primeros meses del año dos mil veinte para el presente trabajo y un grupo de documentos históricos de su colección personal. De estos resaltan cuatro documentos: “Pautas para el desarrollo de una propuesta de taller vertical”, “Programación y sustento filosófico del taller *Flux*”, “Organización interactiva en el proceso de diseño arquitectónico” y “Configurando

²[4] El plan de estudios de la EA está constituido por cinco áreas, una de las cuales es el área de diseño. Según la página web de la EA, el área de diseño «constituye la columna vertebral del currículum y articula el proceso de diseño en los [cursos] denominados talleres de diseño, contiene diez talleres de diseño, con 64 créditos».

una arquitectura costarricense”. Se debe agregar, además, los planos arquitectónicos que ICESA facilitó sobre quince proyectos comprendidos entre 1972 y 1993.

III. RESULTADOS

El trabajo arroja principalmente dos resultados: el más significativo es el registro, digitalización, organización y revisión de un conjunto de fuentes –documentos académicos, documentos de proyectos arquitectónicos y testimonios– relacionadas con la práctica arquitectónica de Beer. La presentación organizada de estas fuentes permite conocer uno de los casos más tangibles que se desencadenaron en la disciplina de la arquitectura en Costa Rica ante la crisis de la arquitectura moderna. El otro aporte esencial del trabajo es mostrar la importancia y riqueza metodológica que reside en el cruce entre estas fuentes históricas. Así, el trabajo aporta al conocimiento de las historias de la arquitectura moderna de la segunda mitad del siglo veinte en Costa Rica.

IV. REFERENCIAS

- [1] “II Congreso Costarricense de Arquitectos,” *Habitar*, vol. 37, pp. 31–34, 1994.
- [2] F. Beer, “Programación y sustento filosófico del Taller Flux,” Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, 1982.
- [3] F. Beer, “Configurando una arquitectura costarricense,” in *II Congreso Costarricense de Arquitectos*, 1994, p. 7.
- [4] Escuela de Arquitectura, “Plan de estudios, área de diseño.” [Online]. Available: <http://www.arquis.ucr.ac.cr/licenciatura.html#mallacurricular>. [Accessed: 24-Feb-2020].

Ciudad Aural: componentes sonoros en la transformación de la experiencia del espacio urbano

Aural City: Sound components in the transformation of urban space experience

Priscilla Vargas Varela

Estudiante de la Lic. en Arquitectura, UCR

correo electrónico: priscilla.vargasvarela@ucr.ac.cr

MSc. Karina Castro-Arce

Profesora e investigadora de la Escuela de Arquitectura, UCR

Palabras clave:

DISEÑO URBANO, escucha, identidad sonora, marca sonora, vivencia urbana.

Keywords:

URBAN DESIGN, listening, sound identity, soundmark, urban experience.

I. INTRODUCCIÓN

En la arquitectura y el urbanismo ha persistido un enfoque visual en el desarrollo de sus procesos proyectuales, por lo que el ámbito sonoro se ha considerado poco. El ambiente sonoro se construye por los sonidos y por la percepción auditiva que se tenga de éstos. El concepto de identidad sonora trata por tanto de definir el conjunto de características comunes a un lugar partiendo de una hipótesis inicial: la de que los espacios urbanos son espacios vivos, sensibles, representativos. Partiendo de que los espacios urbanos son espacios vivos, sensibles y representativos, existen identidades sonoras definidas por un conjunto de características sonoras comunes de este espacio [1]. Entendiendo que las identidades pueden ser utilizadas en los procesos de diseño, esta investigación plantea la pregunta ¿Qué elementos del espacio urbano pueden modificar las identidades sonoras formadas en el imaginario perceptual de las personas usuarias y transeúntes? Para responder se profundiza en los conceptos marca sonora, escucha e identidad sonora; y se estudian como casos dos sectores peatonales de Avenida 4 y Avenida Central en San José. Se exploran diferentes variables espaciales para determinar cambios en el espacio de acuerdo con las identidades sonoras. A partir de la experimentación con simulaciones, se hará una sugerencia al espacio público estudiado en cada avenida, buscando la mejora en la experiencia del transitar la ciudad, pero sin alterar su identidad sonora.

II. MÉTODOS

Este proyecto se desarrolla según la metodología ‘investigación a través del diseño’. Un tipo de investigación académica en la cual se explora el diseño, como método de investigación. Mediante el desarrollo de un proyecto urbano, se explora la pregunta y se cuestiona la teoría con herramientas como bocetos, mapeos y otros [2]. Se puede afirmar, que es un proceso iterativo de diseño de artefactos que provoca una forma creativa de investigar [3]. Se desarrolla en tres etapas, dos de ellas se explican a continuación y la última en ‘Resultados esperados’:

Pre-diseño: entendimiento

Consiste en investigar previo al diseño para brindar una aproximación sobre la pregunta planteada; comienza el análisis del fenómeno, el contexto y la potencial respuesta en forma de diseño [2]. Se utilizan, en esta etapa, una mezcla de dos técnicas de recolección de información de sonido. Primero, el paseo sonoro, definido como una excursión con el único objetivo de escuchar el entorno, poniendo en disposición los oídos a la entrada de sonidos[4]. Este paseo es acompañado de escucha activa – o la disposición a interesarse por algo señalado por un sonido [5]. Segundo, la cartografía sonora, herramienta de registro de marcas sonoras donde se representa gráficamente la distribución espacial y temporal de los sonidos.

El análisis de sitio toma dos direcciones. Una es sobre el análisis del espacio construido utilizando el método ‘Soundscape Design Tool’ de Cerwén [6], la cual ayuda a entender cómo funcionan los elementos construidos o no construidos (naturales) respecto del sonido. La otra es la identificación y análisis de las actividades - o ausencia de ellas - que generan sonoridad; por ejemplo, ventas ambulantes, comercio, transporte de personas, e intervenciones artísticas

Diseño: exploración

En esta etapa el enfoque interactivo se hace más evidente, ya que hay intercambio entre la información recolectada, usuarios y expertos. Es aquí, donde la investigación se desarrolla continuamente durante el proceso de diseño y las deliberaciones teóricas. Esta es una fase de continua ‘reflexión en acción’, en la que no se depende tanto de estructuras teóricas establecidas o técnicas verificables. Se construye nueva teoría de investigación sobre un caso único, a través del trabajo de diseño, y en la búsqueda constante de una respuesta a la pregunta planteada [2]. De la fase de entendimiento, se integran y organizan la información recopilada respecto al mapeo sonoro; la base de datos obtenida sobre las percepciones espaciales con sonidos o ausencia de ellos; y los hallazgos obtenidos en el estudio de los programas arquitectónicos. En esta segunda fase, con el objetivo de mejorar la percepción de los sonidos existentes en un espacio, descubriendo características en común, diferencias y patrones, se continúa la exploración por medio de la clasificación de sonidos de Murray Schafer [7] y la taxonomía del proyecto Ambientes Sonoros de Costa Rica [8], enfocadas en aspectos culturales y sociales. Para esto se utiliza la cartografía sonora antes elaborada en la primera fase, además del análisis semiótico de los sonidos y las entrevistas entre las personas usuarias (estética y psicoacústica).

En esta fase también se experimenta con el diseño urbano a lo largo de los tramos seleccionados. La propuesta de diseño pretende ir variando y evolucionando a razón de aplicar la variable sonora al diseño. Se experimenta con las identidades sonoras haciendo simulaciones y modelos del espacio. Para esta simulación se utiliza el método empleado en el proyecto ‘Soundscape Architecture’ [9], en el que se hace una representación con enfoque sonoro de espacios arquitectónicos icónicos para promover la apreciación de características auditivas en espacios diseñados. Para esto utilizan tres herramientas digitales: un diagrama analítico de los espacios, en donde se muestran los materiales y la geometría en la que está inmerso el sonido; pistas de audio grabadas en el espacio urbano; y una animación de la integración de las anteriores.

III. RESULTADOS ESPERADOS

En acuerdo con una estrategia guiada por la ‘investigación a través del diseño’, los resultados se trabajan durante la última fase metodológica: el Post diseño. En esta fase, los resultados son las síntesis finales del trabajo; esto porque no hay una única posible conclusión. Las simulaciones se presentan como modelos 3D en los que se pueden escuchar y proyectar diferentes patrones de sonido, mediante el software Odeon. A partir de esto las exploraciones y algunos resultados se presentarán de manera audiovisual.

Mediante el aporte de nuevo conocimiento, los resultados de esta investigación pretenden mostrar el impacto de la componente auditiva en el diseño, para una comunidad ampliada: academia y sociedad. Se esperan determinar una serie de posibles utilidades de las identidades sonoras, y cómo estas también determinan la vivencia de las personas usuarias de un espacio urbano o arquitectónico, y no solo las componentes visuales.

IV. REFERENCIAS

- [1] J. L. Carles and C. Palmese, “Identidad Sonora Urbana.” <http://www.eumus.edu.uy/eme/ps/txt/carles.html> (accessed Aug. 11, 2021).
- [2] R. Roggema, “Research by Design: Proposition for a Methodological Approach,” *Urban Sci.*, vol. 1, no. 1, p. 2, 2016, doi: 10.3390/urbansci1010002.
- [3] J. Zimmerman, E. Stolterman, and J. Forlizzi, “An analysis and critique of research through design: Towards a formalization of a research approach,” *DIS 2010 - Proc. 8th ACM Conf. Des. Interact. Syst.*, no. May 2014, pp. 310–319, 2010, doi: 10.1145/1858171.1858228.
- [4] J. de Gortari Ludlow, «El estudio del sonido» en *La revalorización de los sonidos urbanos, ciutat vella, Barcelona, Barcelona*, España, Universitat Politècnica de Catalunya, 2009, pp.28-38
- [5] P. Schaeffer, «Las cuatro escuchas», en *Tratado de los objetos musicales*, x ed. Madrid, España. Alianza Música, 2003, pp. 61-65
- [6] G. Cerwén, “Soundscape Design,” 2010. <https://soundscapedesign.info/> (accessed May 12, 2020).
- [7] M. Schafer, «Classification», en *The Tuning of the World*, x ed. Vermont, EE.UU. Destiny Books, 1994, pp. 133-150

- [8] A. Cabezas, “Ambientes Sonoros de Costa Rica,” 2021. <https://view.genial.ly/5f76671b5a8b4c-0d04131cec/horizontal-infographic-lists-como-colaborar-con-una-grabacion> (accessed Aug. 13, 2021).
- [9] K. Van Lengen, W. Martin, J. Welty, and T. Rogers, “Soundscape Architecture,” 2014. http://soundscape.iath.virginia.edu/display/index_image.html (accessed Jul. 02, 2020).

Reconocimiento: esta reseña forma parte la investigación del Trabajo Final de Graduación titulado ‘La Ciudad Ruidosa: Identidades Sonoras espaciales como componente esencial del proceso de diseño urbano y arquitectónico’, cuyo equipo asesor son la arquitecta MSc. Karina Castro Arce, el compositor MSc. Otto Castro Solano, y el arquitecto MSc. Juan Carlos Sanabria Murillo.

Puente peatonal entre fincas 1 y 2 Un ejercicio de diseño paramétrico

Pedestrian bridge between campus 1 and 2. An exercise in parametric design

Esteban Camacho Mosheim

*Docente en la Escuela de Arquitectura y arquitecto, asistente técnico de la dirección OEPI
correo electrónico: Esteban.camacho@ucr.ac.cr*

Palabras clave:

Arquitectura, diseño, modelo, paramétrico, puente.

Keywords:

Architecture, design, model, parametric, bridge.

I. INTRODUCCIÓN

El presente resumen abordará algunos aspectos singulares del proceso de diseño del *Conector peatonal entre fincas 1 y 2 de la Sede Rodrigo Facio*, y explicará cómo el lenguaje plástico de la propuesta es resultado directo de la metodología y las herramientas empeladas durante dicho proceso.

Para esto se explica qué es el diseño paramétrico en la arquitectura y cuáles son los dogmas y tabúes del “parametricismo” [1], nombre del estilo arquitectónico derivado de este.

Además, se explicará por qué se consideró pertinente desarrollar la propuesta arquitectónica del proyecto en cuestión desde este enfoque particular. Finalmente, serán descritos los resultados de diseño y cuáles fueron los desafíos más significativos durante la fase constructiva de este proyecto.

II. MÉTODOS

El diseño paramétrico y el “parametricismo” como nuevo estilo arquitectónico

El diseño paramétrico parte del principio de entender a todos los elementos de un diseño como instancias variables y correlacionadas, que se adaptan mutuamente de acuerdo con parámetros externos

Este nuevo paradigma se basa en herramientas informáticas que pueden programarse para generar correlaciones intrincadas entre elementos y subsistemas [1]. De esta manera, se logran resultados que, dado su alto grado de complejidad, son sumamente difíciles de replicar intuitivamente. Estas técnicas de diseño suponen la inserción de componentes adaptativos [1] mallas poligonales [2] cuyas propiedades geométricas también son gobernadas por variables.

El término “parametricismo”, fue acuñado por Patrik Schumacher, teórico y arquitecto principal de la firma Zaha Hadid Architects como nombre para el estilo de arquitectónico cuyos métodos se basan en el diseño paramétrico. [1]

El “parametricismo” según Schumacher es guiado según una serie de heurísticas [1] negativas (resultados que deben ser evitados) como: tipologías familiares, objetos platónicos, repeticiones, líneas y ángulos rectos, y heurísticas positivas (dogmas o principios) como: inter-articulaciones, transformaciones, componentes generativos y comportamientos geométricos programados. [1][3]

Schumacher afirma que, al igual que los sistemas naturales, las composiciones parametricistas están tan altamente integradas que no pueden descomponerse fácilmente en subsistemas independientes, lo cual contrasta con el paradigma de diseño moderno, que parte de una clara separación de subsistemas funcionales.[3]

Definición del proyecto

Puente peatonal entre fincas 1 y 2 establece el nexo físico más directo entre la Ciudad Universitaria Rodrigo Facio y la Ciudad de la Investigación para la comunidad universitaria. Fig.1

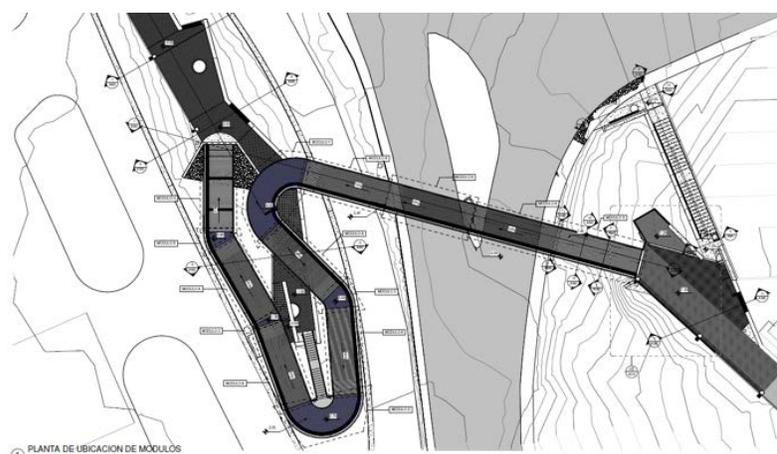


Fig. 1. Planta de conjunto, Puente peatonal entre fincas 1 y 2

Desde etapas tempranas fue evidente que las restricciones geométricas, determinadas por la morfología del espacio edificable, la ubicación de árboles que serían conservados, los niveles topográficos que debían ser alcanzados y los radios de giro requeridos para transitar en bicicleta, suponían una oportunidad para trascender las respuestas arquetípicas de los puentes peatonales tradicionales. Por lo tanto, se decidió solucionar el programa del proyecto [3] utilizando técnicas de diseño paramétrico que generasen, a partir de componentes modulares, formas irregulares y complejas que se adaptarían, de manera orgánica, a las condiciones y requerimientos. Fig. 2.



Fig. 2. Fotografía: Forma orgánica, Puente peatonal (Autora: Anel Kenjekeeva Sancho).

Aplicación de la metodología y herramientas del diseño paramétrico

El proyecto fue conceptualizado como una interposición de segmentos rectos y curvos que, una vez ensamblados, fuesen percibidos como una sola forma; fluida, orgánica y continua.

Utilizando software especializado se establecieron parámetros geométricos y se modelaron masas conceptuales que determinarían la forma primaria de la estructura. Seguidamente, sus superficies fueron transformadas en retículas tridimensionales que permitían la inserción de otras mallas poligonales [4] de menor jerarquía.

Finalmente, estas fueron pobladas con componentes geométricos adaptativos que representaban elementos estructurales primarios y secundarios, así como otros elementos arquitectónicos. Fig. 3.

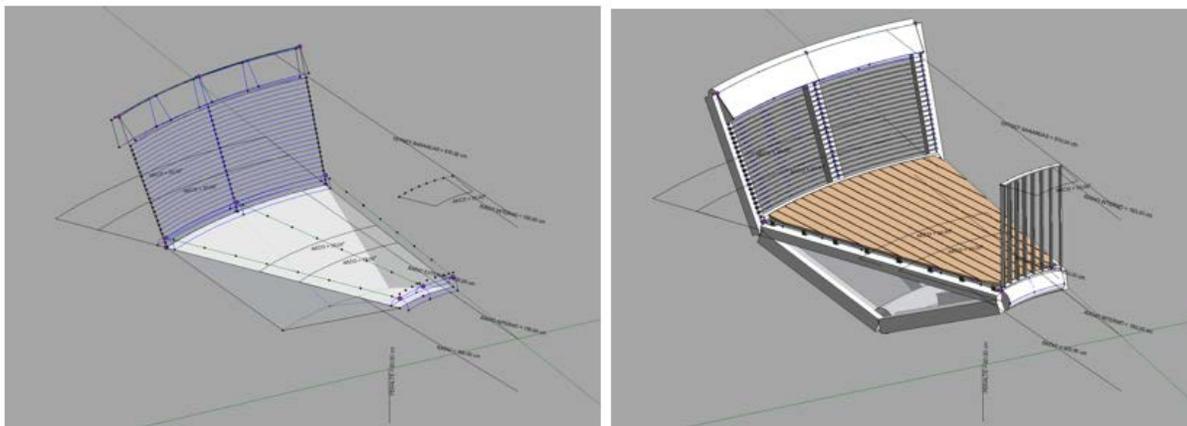


Fig. 3. Mallas poligonales y mallas pobladas con componentes adaptativos.

Todas estas geometrías inter-articuladas [1] estaban determinadas por parámetros externos, lo cual permitió la generación, de manera automática, de múltiples alternativas de diseño.

III. RESULTADOS ESPERADOS

La propuesta de diseño que finalmente fue construida está conformada por catorce segmentos modulares de los cuales cinco tienen dimensiones geométricas específicas. La posibilidad de generar automáticamente múltiples variaciones adaptativas de estos catorce segmentos, durante la etapa de diseño, permitió alcanzar una propuesta que se entretijera entre árboles, y que habilitara el tránsito de personas a pie, en bicicleta y silla de ruedas.

Esta automatización en la generación de variaciones también produjo un proceso de diseño más eficiente, ya que no se tuvo que invertir tiempo ni recursos en la elaboración del modelo tridimensional de la propuesta.

En lo que respecta al resultado arquitectónico, aunque el proyecto es una solución modular, su forma alcanzó una riqueza formal gobernada por reglas matemáticas [4] y al mismo tiempo orgánica, lo cual es difícil de alcanzar de manera intuitiva, utilizando métodos de diseño arquitectónico tradicionales.

IV. REFERENCIAS

- [1] P. Schumacher. "Parametricism as Style - Parametricist Manifesto". <http://www.patrikschumacher.com/http://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism%20as%20Style.htm> (accedido en Set. 3, 2021).
- [2] R. Tobler & S. Maierhofer, "A Mesh Data Structure for Rendering and Subdivision", presentado en *The 14th International Conference on Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision, 2006*. Disponible en http://wscg.zcu.cz/wscg2006/Papers_2006/Short/E17-full.pdf
- [3] A. Gattupalli. "Parametricism- The Style of the Future". [re-thinkingthefuture.com](https://www.re-thinkingthefuture.com/rtf-fresh-perspectives/a1710-parametricism-the-style-of-the-future/) <https://www.re-thinkingthefuture.com/rtf-fresh-perspectives/a1710-parametricism-the-style-of-the-future/> (accedido en Set. 1, 2021).
- [4] E. Engle. "What Is Parametric Design in Architecture, and How Is It Shaping the Industry?". [Autodesk.com](https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/parametric-design-architecture-shaping-industry/) <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/parametric-design-architecture-shaping-industry/> (accedido en Set. 1, 2021).

Mapa interactivo de edificaciones patrimoniales intervenidas durante manifestaciones en Centroamérica, en la década de 2010

Interactive map of heritage architecture intervened during demonstrations in Central America in the decade of 2010

Alejandra Méndez Ramírez

*Investigadora, Escuela de Arquitectura, Universidad de Costa Rica
correo electrónico: alejandra.mendez@ucr.ac.cr*

Palabras clave:

Arquitectura, graffiti, manifestación, patrimonio, virtual.

Keywords:

Architecture, demonstration, graffiti, heritage, virtual.

I. INTRODUCCIÓN

El propósito de esta investigación es documentar 5 edificaciones Patrimoniales de países Centroamericanos, las cuales fueron intervenidas durante protestas o manifestaciones, desde la década de 2010 hasta 2020, mediante el diseño de una aplicación digital e interactiva de uso universal. La meta es el desarrollo de un espacio digital donde se puedan documentar eventos de intervención artística, deterioro, destrucción u otros, que se dieron en manifestaciones.

Esta investigación se enfoca en la importancia de la arquitectura patrimonial como elemento histórico y la implicación de estas edificaciones en el contexto sociopolítico de la región. La finalidad de esta investigación es promover la discusión sobre el proceso de resignificación de la arquitectura patrimonial; esta resignificación es a veces agresiva, resultando en momentos de roce que responden a una transgresión. Esta investigación analiza y documenta la arquitectura patrimonial, el momento de roce y la transgresión que se da en las edificaciones.

II. MÉTODOS

Esta investigación se enfoca en entender y reproducir digitalmente la arquitectura patrimonial intervenida, se enfoca en entender el concepto de arquitectura latinoamericana, como un elemento construido que se encuentra estrechamente unido al contexto social, cultural y político de un país. Busca analizar y documentar los eventos de protesta y manifestación que impulsaron la intervención en edificaciones patrimoniales; y finalmente las intervenciones que se dan en la arquitectura durante estas protestas y manifestaciones.

La propuesta de investigación plantea generar un Mapa Interactivo digital en torno a las edificaciones a investigar y las distintas intervenciones que se dieron; que permita a las personas usuarias acercarse digitalmente a los modelos 3D y observar las intervenciones que se dieron durante las manifestaciones. De igual forma se encontrarán videos y sonidos que acerquen a las personas al contexto social y político de los países centroamericanos.

Se seleccionó una obra arquitectónica patrimonial que funciona como institución gubernamental por país que; que las edificaciones hayan sido intervenidas durante manifestaciones correspondiente a asuntos sociales y políticos, donde la población expresó una condición de descontento con la condición actual del país.

En El Salvador, se seleccionó el Palacio Nacional(1905 a 1911), ubicado en el centro histórico y actualmente funciona como la Secretaría de Cultura y la oficina del presidente. La protesta se dio en Diciembre del 2020, en contra del presidente Nayib Bukele por el uso irregular de los fondos destinados al manejo de la pandemia, donde se dió el evento teatral de impresión de billetes con la cara del presidente, los cuales fueron lanzados a la fachada del edificio.

En Guatemala, se seleccionó el Palacio Legislativo(1943.), que funcionó como la Antigua Sede del Gobierno Guatemalteco. En Noviembre del 2020, se dió la manifestación en contra de la corrupción y el mal manejo de las condiciones de salud, concluyendo en graffitis, destrucción de ventanas y puertas y quema de un sector de la fachada. En Honduras se seleccionó la Alcaldía Municipal(1936), donde se dió en Abril del 2019, la manifestación en contra de la privatización de los servicios de Salud y Educación, la cuál concluyó en el incendio de la edificación. En el caso de Nicaragua se seleccionó la Casa Sandinista(1908), la cuál funciona como Cuartel del Partido El Frente Sandinista de Liberación Nacional. En Mayo del 2018 se dieron manifestaciones en contra del gobierno, que resultaron en el incendio total de la edificación. Finalmente, en Costa Rica se seleccionó la Asamblea Legislativa(1908). Durante las manifestaciones del 8 de Marzo 2018, conmemorando el día Internacional de la Mujer y haciendo demanda sobre el volumen alto y creciente de femicidios, se dieron una serie de presentaciones artísticas y performances.

La investigación tiene cinco etapas, la recolección de datos, que se divide en tres áreas, la la documentación arquitectónica del inmueble, donde se reconstruye de manera digital un modelo 3D de la edificación, que es recorrible y responde a la materialidad y detalles constructivos que la vuelven parte del patrimonio arquitectónico de su país. Esto mediante el acceso a registros de instituciones encargadas de la Arquitectura Patrimonial y con escuelas de Arquitectura. La segunda es una documentación fotográfica de las intervenciones que se dieron durante la manifestación en dichas edificaciones. Estas intervenciones serán presentadas como registro fotográfico al igual que estarán incluidas en el modelo 3D de las edificaciones; se hará una búsqueda en línea de imágenes de las intervenciones en bases de datos, periódicos, revistas, noticieros; al igual que se realizará una comunicación directa con las instituciones correspondientes, junto con colectivos de estudiantes y artistas en Guatemala y Nicaragua. La tercera área corresponde a un análisis sociopolítico de las condiciones que llevaron a las manifestaciones y protestas al punto de intervenir las edificaciones. Esto a partir de un análisis documental de periódicos, textos bibliográficos entre otros. Finalmente se

harán visitas a las edificaciones por parte de la investigadora principal y se encuentra en proceso de aplicación a fondos artísticos en distintas instituciones nacionales e internacionales.

La segunda etapa es un análisis discursivo, en conjunto con el Investigador Andrés Jiménez, que concluye en un artículo. La tercera etapa es una etapa de prototipado y bocetos del diseño interactivo. La cuarta etapa es el diseño de la aplicación Mapa Interactivo, y finalmente una etapa de divulgación.

III. RESULTADOS ESPERADOS

El resultado final de la investigación es un mapa interactivo, donde estarán ubicadas las edificaciones mencionadas anteriormente y representadas con un modelo digital 3D interactivo transitable, lo que quiere decir, que la persona usuaria es presentada con una maqueta digital, donde es posible acercarse, rotar y girar la vista. Las personas usuarias tienen la posibilidad de ver detalles de la edificación y los materiales. También se tiene acceso a notas sobre la historia y la arquitectura de la edificación, buscando tener una experiencia robusta sobre la arquitectura.

Las personas usuarias también encontrarán dentro del mapa interactivo, la documentación de las intervenciones, esto quiere decir, que se puede encontrar dentro del modelo digital 3D, los graffitis y dibujos que se desarrollaron durante la manifestación, aunque ya no se encuentren en las edificaciones. También se presenta información dentro del mapa interactivo relativo al contexto sociopolítico de las edificaciones y de las manifestaciones. Esta vertiente de información busca ser inclusiva e interactiva, por lo que se proponen audios, videos, imágenes, notas y artículos, que presenten a las personas usuarias con un panorama robusto.

IV. REFERENCIAS

- [1] A, Arellano, “Medio milenio: Esclavitud y ecicidio, antropofagia e identidad”, Ed. UNEAC, La Habana., (2011).
- [2] J, Ballart, “América Latina, Historiografía y Arquitectura”. Universidad Nacional Experimental del Táchira, San Cristóbal, Venezuela. (1994).
- [3] C, Esche, “El Valor del Patrimonio Histórico”. Complutum Extra, 6(11), 1996: 215-224 Bradley, W., &. (2007).
- [4] E, Cárdenas, E. “Valoración del sentido de identidad en el espacio urbanoarquitectónico”. SAL(Seminario de Arquitectura Latinoamericana) 7° Oaxtepec, México. (2007)
- [5] R, Cuevas, C, Villalobos, C. “Disposición de los latinoamericanos hacia la protesta. Un análisis exploratorio a partir de Latinobarómetro 2015”. Revista Chilena de Derecho y Ciencia Política. junio - noviembre 2017 • issn 0718-9389 • e-issn 0719-2150 • vol. 8 • n° 2 doi 10.7770/rchdycp-v8n2-art1297. Donoso, S. (2013).
- [6] M, Garretón, “El Patrimonio Arquitectónico, una fuente para la enseñanza de la Historia y las Ciencias Sociales”, Enseñanza de las Ciencias Sociales, núm. 9, 2010, pp. 41-50. A. (2002). “La transformación de la acción colectiva en América Latina.” CEPAL (76), 7-25. Glasius, M., & Pleyers, G. (2013).
- [7] N, Medranda, “Los mapas interactivos, herramientas para la participación ciudadana”, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, (2018)

- [8] M, Arellano, “Mujeres restauradoras se pronuncian ante las pintas de los monumentos en la Ciudad de México”. Portalarquitectura.com <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/924586/mujeres-restauradoras-se-pronuncian-ante-las-pintas-del>(accesado en Abril 2020)
- [9] Sin Nombre. “Marcha del 8M en San José se vio empañada por vandalismo”. Ncrnoticias.com <https://ncrnoticias.com/nacionales/marcha-del-8m-en-san-jose-se-vio-empanada-por-vandalismo/>(accesado en Abril 2020)
- [10] Sin Nombre. “Manifestantes incendian edificio del Congreso de Guatemala”. 2020, 24 Noviembre. www.dw.com <https://www.dw.com/es/manifestantes-incendian-edificio-delcongreso-de-guatemala/a-55688857> (accesado en Mayo 2020)
- [11] R, Villareal. “Pobladores queman la casa FLNS en Altagracia”. 2018, 26 Mayo. <https://www.laprensa.com> <https://www.laprensa.com.ni/2018/05/26/departamentales/2425990-pobladoresqueman-casa-del-fsln-en-altagracia-isla-de-ometepe> (accesado en Abril 2020)
- [12] Sin Nombre, “Quema de palacio municipal durante protestas aumenta sus costos de restauración”, 2019, 29 Mayo. www.elheraldo.hn <https://www.elheraldo.hn/pais/1280013-466/quema-de-palacio-municipal-durante-protestas-aumenta-sus-costos-de-restauraci%C3%B3n> (accesado en Abril 2020)
- [13] K, Pérez. “Grupo protesta fuera de la Asamblea Legislativa por recientes femicidios”. 2018, 15 Marzo. www.elmundo.cr<https://www.elmundo.cr/costa-rica/grupo-protesta-la-asamblea-legislativa-recientes-femicidios/> (accesado en Marzo 2020)

Tema III
Hábitats inteligentes,
eficientes y sustentables

Evaluación de inductores en producción de celulasas por *Penicillium oxalicum* y raquis de plátano

Inductor's evaluation in cellulase production by *Penicillium oxalicum* and plantain rachis as substrate

Marcel Albán Jiménez Fallas

Estudiante, Escuela de Ingeniería Química, UCR
correo electrónico: marcel.jimenezfallas@ucr.ac.cr

Johanna Méndez Arias, PhD.

Coordinadora, Laboratorio de Recursos Forestales, INII, UCR
correo electrónico: johanna.mendezarias@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Celulasas, inductores, *Penicillium oxalicum*, raquis de plátano.

Keywords:

Cellulases, inducers, *Penicillium oxalicum*, plantain rachis.

I. INTRODUCCIÓN

Costa Rica produce gran cantidad de residuos agrícolas orgánicos. Estos pueden ser aprovechados en la obtención de fuentes de energía no convencionales, tal es el caso de bio combustibles de segunda generación [1]. Entre estos se puede citar el bioetanol obtenido mediante la fermentación de azúcares producidos a partir de residuos agroindustriales [2]. Las celulasas desempeñan un rol importante en la obtención de azúcares, ya que actúan como catalizadoras en la hidrólisis de materiales lignocelulósicos pretratados. Es por esto, que actualmente se realizan esfuerzos para la obtención de cepas fúngicas capaces de producir enzimas altamente activas, y con ello reducir el cuello de botella asociado a los costos de su producción y a su eficiencia en procesos de hidrólisis enzimática [3]. En este estudio se evaluaron diferentes sustancias inductoras en la producción de celulasas por *Penicillium oxalicum* utilizando raquis de plátano como principal fuente de carbono.

II. METODOLOGÍA

Para utilizar el raquis de plátano como fuente de carbono primero se aplicó sobre este un pretratamiento con H₂SO₄ al 1.09 % (v/v), según la metodología de [4], con el fin de separar la fracción de hemicelulosa. Posteriormente, se realizó un pretratamiento alcalino para separar la lignina, utilizando NaOH al 4 % (m/v), según la metodología de [5]. Además, las biomasas fueron caracterizadas con base en

los reportes del Laboratorio Nacional de Energías Renovables de los Estados Unidos (NREL) [6], [7] y en los estándares de la Asociación Técnica de la industria de la Pulpa y el Papel de los Estados Unidos [8], [9].

Las fermentaciones se realizaron con el medio propuesto por [10] con las concentraciones óptimas de fuentes de nitrógeno determinadas en estudios realizados previamente (datos no mostrados), y siguiendo las metodologías de [11] y [12]. La concentración de las sustancias inductoras utilizada fue de 10 g/L. Se cuantificó la actividad endo-glucanasa, exo-glucanasa, β -glucosidasa y actividad en papel filtro de acuerdo con lo propuesto por [13].

III. RESULTADOS

El Cuadro I muestra los resultados obtenidos en la caracterización del raquis de plátano. Se removió un 91 % de hemicelulosa y 74 % de lignina en masa al realizar ambos pretratamientos. Esto puede mejorar el acceso de las celulasas al sustrato, y reduce las diferentes interacciones entre estas y la lignina, lo cual permite obtener un mejor rendimiento en el proceso [14], [15].

CUADRO I
COMPOSICIÓN MÁSCICA DEL RAQUIS DE PLÁTANO.

Componente	Raquis de plátano / (% m/m)	
	Sin pretratar	Pretratado
Celulosa	39.73 + 1.77	74.54 + 2.43
Hemicelulosa	22.27 + 0.39	3.64 + 1.10
Lignina	17.88 + 0.64	9.35 + 0.20

En la Fig 1 se muestran los resultados obtenidos en producción de celulasas utilizando raquis de plátano como principal fuente de carbono (control), y la adición de otros inductores. Los resultados muestran que en todos los casos hubo un aumento respecto al control en la actividad de los diferentes tipos de celulasas. Además, se observa que al agregar melaza se obtiene un mejor rendimiento en actividad enzimática.

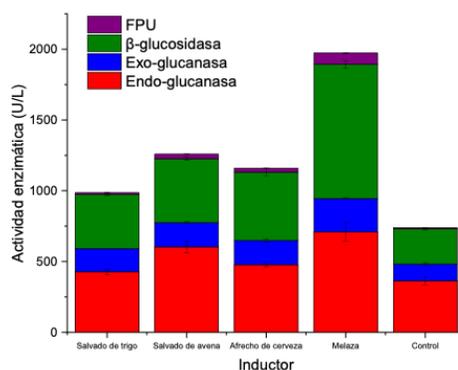


Fig 1. Producción de celulasas por *Penicillium oxalicum* utilizando diferentes inductores.

La melaza es un subproducto del procesamiento de la caña de azúcar y está compuesta de: 60 % sacarosa, 0.60 % rafinosa, 0.29 % fructosa y 0.28 % glucosa en masa [16]. Esto podría deberse a que alguna de estas sustancias induce al hongo *P. oxalicum* a expresar los genes requeridos para la síntesis de estas proteínas. Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos por [17], quienes determinaron que la melaza induce la transcripción genética y la actividad enzimática en *Trichoderma reesei*.

A pesar de haber obtenido un rendimiento menor que la melaza y el salvado de avena, el afrecho de cerveza produjo celulasas con actividades similares a las del salvado de trigo, que es comúnmente utilizado en estudios con enfoques similares a este. Por otra parte, este resultado permite valorizar dicho subproducto del proceso de producción de cerveza, que además no compete con otras sustancias que pueden ser utilizadas en elaboración de alimentos.

Estos resultados permiten conocer el potencial que tiene el *P. oxalicum* en producción de celulasas al utilizar raquis de plátano como principal sustrato, y la adición de otros inductores del proceso.

IV. REFERENCIAS

- [1] O. Coto, "Informe de Consultoría Producto 2: Prácticas Actuales de Tratamiento y Disposición de los Residuos Agrícolas Orgánicos en Costa Rica," p. 69, 2013.
- [2] C. Charpentier Alfaro and J. Méndez Arias, "Enzymatic conversion of treated oil palm empty fruit bunches fiber into fermentable sugars: optimization of solid and protein loadings and surfactant effects," *Biomass Convers. Biorefinery*, May 2020.
- [3] X. Ju, M. Bowden, M. Engelhard, and X. Zhang, "Investigating commercial cellulase performances toward specific biomass recalcitrance factors using reference substrates," *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 98, no. 10, pp. 4409–4420, May 2014.
- [4] G. J. Vargas Betancur and N. Pereira Jr., "Sugar cane bagasse as feedstock for second generation ethanol production. Part I: Diluted acid pretreatment optimization," *Electron. J. Biotechnol.*, vol. 13, no. 3, May 2010.
- [5] M. P. Vásquez, J. N. C. da Silva, M. B. de Souza, and N. Pereira, "Enzymatic hydrolysis optimization to ethanol production by simultaneous saccharification and fermentation," *Appl. Biochem. Biotechnol.*, vol. 137–140, no. 1–12, pp. 141–153, Apr. 2007.
- [6] B. Hames, R. Ruiz, C. Scarlata, A. Sluiter, J. Sluiter, and D. Templeton, "Preparation of Samples for Compositional Analysis: Laboratory Analytical Procedure (LAP); Issue Date 08/08/2008," no. August, 2008.
- [7] B. Hames *et al.*, "Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass," 2012.
- [8] TAPPI, "Water solubility of wood and pulp," *Quality*, pp. 6–8, 1999.
- [9] TAPPI, "Acetone extractives of wood and pulp," *Tappi*, pp. 5–7, 1999.
- [10] M. Mandels and J. Weber, "The Production of Cellulases," pp. 391–414, 1969.
- [11] R. N. Maeda, M. M. P. da Silva, L. M. M. Santa Anna, and N. Pereira, "Nitrogen Source Optimization for Cellulase Production by *Penicillium funiculosum*, using a Sequential Experimental Design Methodology and the Desirability Function," *Appl. Biochem. Biotechnol.*, vol. 161, no. 1–8, pp. 411–422, May 2010.

- [12] H. N. Prasanna, G. Ramanjaneyulu, and B. Rajasekhar Reddy, "Optimization of cellulase production by *Penicillium* sp.," 3 *Biotech*, vol. 6, no. 2, p. 162, Dec. 2016.
- [13] T. K. Ghose, "Measurement of cellulase activities," *Pure Appl. Chem.*, vol. 59, no. 2, pp. 257–268, Jan. 1987.
- [14] R. R. Gonzales, P. Sivagurunathan, and S.-H. Kim, "Effect of severity on dilute acid pretreatment of lignocellulosic biomass and the following hydrogen fermentation," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 41, no. 46, pp. 21678–21684, Dec. 2016.
- [15] W. Ying, Z. Shi, H. Yang, G. Xu, Z. Zheng, and J. Yang, "Effect of alkaline lignin modification on cellulase–lignin interactions and enzymatic saccharification yield," *Biotechnol. Biofuels*, vol. 11, no. 1, p. 214, Dec. 2018.
- [16] A. Palmonari et al., "Short communication: Characterization of molasses chemical composition," *J. Dairy Sci.*, vol. 103, no. 7, pp. 6244–6249, Jul. 2020.
- [17] M. Ling, G. Chen, Y. Lin, and Z. Liang, "Induction of cellulase gene transcription by a novel oligo-saccharide: molasses alcohol stillage substance," *World J. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 25, no. 8, pp. 1485–1489, Aug. 2009.

Materiales secantes y pretratamientos en el proceso y producto del compostaje doméstico

Uses of different drying materials and pretreatments in the process of domestic composting and in the final compost

MAndrés Alberto Monge Bolaños

*Estudiante, Escuela de Ing. de Biosistemas, UCR
correo electrónico: andres.mongebolanos@ucr.ac.cr*

*Ronald Esteban Aguilar Alvarez
Escuela de Ing. de Biosistemas, UCR*

*Gabriela Soto Muñoz
Proyecto BIOECODES. Centro de Investigaciones en Contaminación Ambiental (CICA), UCR*

*Juan Salvador Chin Pampillo
Centro Investigación en Contaminación Ambiental (CICA), Escuela de Ing. de Biosistemas, UCR*

Palabras clave:

Arduino, cartón, compostera giratoria, pellets, residuos sólidos biodegradables.

Keywords:

Arduino, cardboard, rotary composter, pellets, biodegradable solid waste.

I. INTRODUCCIÓN

Desde el año 2010, Costa Rica comenzó la implementación de la Ley N°8839 para la Gestión Integral de los Residuos, con el objetivo de regular la gestión y el uso eficiente de los recursos institucionales mediante acciones que incentiven soluciones para su tratamiento. Lo anterior nace a raíz del aumento en la generación de los residuos en zonas urbanas, que se estima en 4% anual en la última década, de los cuales hasta un 60% del total son residuos sólidos biodegradables (RSB) [1].

De acuerdo con el Plan Nacional de Compostaje, derivado del Plan de Descarbonización 2018-2050, se estima que se generan aproximadamente 3500 toneladas diarias de residuos sólidos, que son transportados hacia rellenos sanitarios, donde no reciben un tratamiento adecuado y generan riesgos a la salud de la comunidad y a los suelos [2]. A esto se suma, que en general solo una fracción cercana al 1 % de los residuos orgánicos es valorizada y procesada adecuadamente en el país [3].

El compostaje doméstico ofrece una solución para el tratamiento puntual en la disminución del residuo acumulado, y aporta rutas alternas para generar insumos que se integren positivamente a la economía y al ambiente [4]. Sin embargo, la heterogeneidad en la biomasa utilizada y la variedad de

factores influyentes en el proceso, genera un faltante de estándares que permitan al usuario realizar un tratamiento adecuado y de bajo costo de los residuos producidos en su hogar [5].

Para compostar adecuadamente los RSB, es necesario aplicar pre-tratamientos, como picado y triturado, para facilitar las transformaciones biológicas de los materiales [6]. Además, se promueve la incorporación de materiales secantes, como pellets de madera y cartones de huevos, para producir las condiciones adecuadas en las cuales los microorganismos descomponedores comienzan su actividad biológica [7].

Es por lo anterior, que el proyecto evaluará los efectos de las prácticas del pretratamiento, picado y triturado, y del uso de dos materiales secantes, cartón de huevos y pellets de madera, con el fin de aportar información, al vacío que existe en la sistematización del proceso y producto final del compostaje doméstico mediante un diseño experimental factorial 2².

II. METODOLOGÍA

El estudio se realizará en un hogar localizado en la GAM. Se utilizará un registrador de datos (Modelo: MX2302, HOBO) para la toma de datos de temperatura y humedad relativa del sitio estudio. Para el equipo de compostaje, se evaluarán cuatro composteras giratorias de doble cámara (Modelo KS-100, 360 Soluciones Verdes) con una capacidad de 170 litros.

Los RSB serán recolectados semanalmente de dos restaurantes, puestos de la feria del agricultor y del centro de acopio de la localidad, para el suministro constante de los residuos, tanto del cartón de huevo como de hortalizas y frutas. Se proporcionarán recipientes plásticos estandarizados para facilitar el almacenamiento, recolección y transporte del material. Los pellets serán adquiridos de un productor local.

El estudio abarcará tres ciclos completos de compostaje con una duración de dos meses por cada uno. La adición del material será semanal y estandarizado para cada compostera. Durante el primer mes se llenará el recipiente y durante el segundo se dejará reposar para continuar con la etapa de maduración. La aireación será brindada por el volteo una vez al día.

Se caracterizará la capacidad de absorción del cartón mediante la norma mediante la norma TAPPI T 441 om-09 [8], y de los pellets siguiendo el procedimiento descrito por [9]. Se establecerá la equivalencia en peso con respecto a su capacidad secante. Así como, para los RSB al inicio del ciclo, se determinará la relación C/N, pH y contenido de humedad.

Se implementará un diseño experimental de tipo factorial 2² para evaluar las dos variables independientes, el material secante y el pretratamiento, a dos niveles cada uno, pellets y cartón de huevos, y, picado y triturado, respectivamente. Se evaluará las condiciones del proceso monitoreando las variables temperatura y humedad; y para el compost, la relación de C/N, el pH y la actividad microbiana.

Simultáneamente, se evaluará una metodología para el monitoreo continuo de la temperatura, humedad y concentración de O₂ en el interior con microcontroladores modelo NANO, Arduino™. Finalmente, mediante análisis de varianza, se establecerá si hay diferencias entre el efecto del uso de los materiales secantes y pretratamientos.

III. RESULTADOS

Se pretende establecer un factor de equivalencia para el material secante, de acuerdo con su capacidad de absorción de humedad, con el fin de determinar una proporción adecuada de mezcla y con los RSB. Además, se espera determinar si el cambio de pretratamientos o materiales secantes tiene algún efecto sobre el proceso de compostaje o el compost.

Mediante el sistema de monitoreo y las pruebas fisicoquímicas del material, se busca obtener datos de las variables iniciales, de monitoreo y del compost producido. Finalmente, se pretende obtener una metodología validada para el monitoreo de bajo costo de las condiciones internas de las composteras giratorias, con el fin de evaluar el rendimiento del proceso.

IV. REFERENCIAS

- [1] R. Diaz and S. Otoma, "Cost-benefit analysis of waste reduction in developing countries: A simulation," *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, vol. 16, no. 1, pp. 108–114, 2014, doi: 10.1007/s10163-013-0148-3.
- [2] Secretaría Consejo Nacional Ambiental, "I Plan Nacional de Compostaje 2020 - 2050," San José, Costa Rica, 2020.
- [3] S. Á. Méndez, "Elaboración de una propuesta para el tratamiento de residuos sólidos urbanos por procesamiento mecánico-biológico para los cantones urbanos de Heredia," Universidad de Costa Rica, 2017.
- [4] R. P. González-Sierra, J. S. Arizmendiarieta, B. P. Sánchez, I. I. Iriarte, and G. N. Duarte, *Community Composting: A Practical Guide for Local Management of Biowaste*, no. April. 2019.
- [5] M. K. Manu, R. Kumar, and A. Garg, "Decentralized composting of household wet biodegradable waste in plastic drums: Effect of waste turning, microbial inoculum and bulking agent on product quality," *J. Clean. Prod.*, vol. 226, pp. 233–241, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.350.
- [6] L. L. Ismael, R. A. Pereira, C. Allyson, S. De Farias, and E. Tarcísio, "Avaliação de composteiras para reciclagem de resíduos orgânicos em pequena escala Evaluation of composting bins for small-scale recycling of organic wastes," *Rev. Verde Agroecol. e Desenvol. Sustentável*, vol. 8, no. 4, pp. 28–39, 2013.
- [7] Z. Xu et al., "Bacterial dynamics and functions driven by bulking agents to mitigate gaseous emissions in kitchen waste composting," *Bioresour. Technol.*, vol. 332, no. February, p. 125028, 2021, doi: 10.1016/j.biortech.2021.125028.
- [8] Tappi, "Water absorptiveness of sized (non-bibulous) paper , paperboard , and corrugated fiberboard (Cobb test)," *Tappi*, pp. 1–6, 2009.
- [9] P. Matkowski, A. Lisowski, and A. Świetochowski, "Characterisation of wheat straw pellets individually and in combination with cassava starch or calcium carbonate under various compaction conditions: Determination of pellet strength and water absorption capacity," *Materials (Basel)*, vol. 13, no. 19, pp. 1–15, 2020, doi: 10.3390/ma13194375.

Este documento fue elaborado bajo la licencia abierta Creative Commons en su modalidad Atribución-NoComercial-Compartir igual 4.0 Internacional

Evaluación de la Digestión Anaerobia en dos etapas de los residuos de café

Two-Phase Anaerobic Digestion Assessment of coffee byproducts

Josué Ignacio Jiménez Vargas

*Escuela de ingeniería de Biosistemas (EIB), UCR
correo electrónico: josue.jimenezvargas@ucr.ac.cr*

Mauricio Bustamante Román

Escuela de ingeniería de Biosistemas (EIB), UCR

Juan Pablo Rojas Sossa

Escuela de ingeniería de Biosistemas (EIB), UCR

Palabras clave:

Café, CFD, digestión anaerobia, dos etapas, revalorización.

Keywords:

Anaerobic digestion, coffee, CFD, energy profit, two-phase.

I. INTRODUCCIÓN

El café es el tercer producto agrícola de exportación [2]. Sin embargo, únicamente el 18% de la biomasa total tiene un valor económico comercializable. Según Rojas [3] la Digestión Anaerobia (DA) en una etapa a partir de los residuos de café tiene el potencial de ser una fuente para la producción de biogás, el cuál puede ser utilizado para la obtención de energía. Beyene et al. [4] calcularon el potencial energético teórico en 4-10 millones kJ/día. Sin embargo, se plantean retos importantes para alcanzarlo, tal es el caso de la estacionalidad de la actividad [5], baja eficiencia (16%) [6] y presencia de compuestos lignocelulósicos y hemicelulósicos en la pulpa [7]. Por esta razón se recomienda realizar un pretratamiento de la materia prima, [8], Santos et al. [7] comprobaron que la DA de los residuos de café al ser separada en dos etapas permite incrementar la producción de biogás, para esto se requiere una optimización del bioproceso, que permiten aumentar los rendimientos. El objetivo general del proyecto es optimizar el proceso de hidrólisis-acidogénesis de un reactor en tanque agitado para la digestión anaerobia de los residuos de una planta de procesamiento de café para alcanzar altas tasas de fermentación, en un estado meta cuyas características deben ser estable y homogéneo.

II. METODOLOGÍA

Se opera y evalúa un prototipo de reactor de tanque agitado de 40 L efectivos a tiempos de retención hidráulica (TRH) de 5 y 3 días. Se realizará una alimentación de pulpa molida y fracción líquida de los residuos del beneficio de café, a razón de mezcla 30:70. A partir de muestras del influente y efluente se hará caracterización de sólidos, pH, viscosidad, ácidos grasos volátiles (AGV) y calidad del biogás. Seguidamente, se obtendrán los porcentajes de degradación y afectación por acumulación del material. Estos datos se asociarán con la calidad de biogás producido al final de la metanogénesis, para determinar el TRH para el que el reactor opera de forma más eficiente. Se realizará un modelo de fluidos computacional para validar el escalamiento del reactor.

III. RESULTADOS

El presente trabajo responde a un proyecto en desarrollo, actualmente se ha avanzado en la etapa de construcción, inoculación del reactor, y operación de dos repeticiones del TRH de 5 días. Por lo tanto, los resultados presentados aquí no son concluyente, durante los siguientes dos meses se ampliará la base de datos. A continuación, se presentan los resultados obtenidos hasta el momento, así como los resultados que se esperan obtener posteriormente.

Objetivo 1: Eficiencia del proceso

El Cuadro 1 muestra la caracterización de %ST, %SV y pH del material de alimentación y efluentes del reactor. Se puede observar que se da un consumo de SV lo que permite demostrar que se está llevando a cabo un mecanismo de degradación de SV propia de la etapa hidrolítica del proceso de fermentación. También esta figura muestra como el material de alimentación y efluentes mantienen su condición ácida (3,5 y 4,5 pH) durante el proceso, prueba de que se está llevando a cabo un proceso de fermentación ácida.

CUADRO I
CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL DE ALIMENTACIÓN Y EFLUENTES.

Fecha	Alimentación				Efluentes								
	ST (%)	SV (%)	pH	TRH	Hidrolizado			Hidrolizado + Fibra			Fibra		
	ST (%)	SV (%)	pH	TRH	ST (%)	SV (%)	Ph	ST (%)	SV (%)	Ph	ST (%)	SV (%)	Ph
1-sep	7,86	7,47	3,90	5	3,71	3,03	4,38	5,30	4,54	4,36	17,38	16,79	3,73
8-sep	6,45	5,91	3,81	5	4,22	3,64	3,76	5,71	5,10	3,75	17,59	16,82	4,10

Objetivo 2: Parámetros de operación óptimos

En este objetivo se analizará los datos obtenidos en el paso anterior y se espera establecer los parámetros de operación para los cuales se alcanza una mayor eficiencia y estabilidad del proceso, a partir de datos experimentales y la modelación de fluidos computacional.

Objetivo 3: Escalamiento a nivel industrial

Este resultado pretende mostrar una propuesta de diseño para el escalamiento del reactor hidrolítico. Este aspecto contemplará la entrega de planos, planes de trabajo y monitoreo con el objetivo de ser desarrollado en el futuro cercano.

IV. REFERENCIAS

- [1] N. M. Rotta *et al.*, “A comprehensive analysis of operations and mass flows in postharvest processing of washed coffee”, *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 170, núm. March, p. 105554, jul. 2021, doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105554.
- [2] ICAFE, “Informe de la actividad cafetalera de Costa Rica: 2019”, Heredia, Costa Rica, 2019. [En línea]. Disponible en: http://www.icafe.go.cr/wp-content/uploads/informacion_mercado/informes_actividad/anteriores/2009.pdf.
- [3] J. P. Rojas-Sossa, “Evaluación de la producción de biogás por medio de la biodigestión anaerobia semicontinua utilizando residuos del beneficiado del café como sustrato”, Universidad de Costa Rica, 2015.
- [4] A. Beyene, D. Yemane, T. Addis, A. A. Assayie, y L. Triest, “Experimental evaluation of anaerobic digestion for coffee wastewater treatment and its biomethane recovery potential”, *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 11, núm. 7, pp. 1881–1886, 2014, doi: 10.1007/s13762-013-0339-4.
- [5] L. Sánchez, “Parámetros Operativos y Capacidad de Procesamiento del Reactor Anaerobio en el Beneficio Coopelibertad R.L. TESIS”, Universidad de Costa Rica, 2000.
- [6] M. Adams y A. Ghaly, “Maximizing sustainability of the Costa Rican coffee industry”, *J. Clean. Prod.*, vol. 15, núm. 17, pp. 1716–1729, 2007, doi: 10.1016/j.jclepro.2006.08.013.
- [7] L. C. Santos, O. F. Herrera Adarme, B. E. Lobo Baêta, V. L. Alves Gurgel, y S. Francisco De Aquino, “Production of biogas (methane and hydrogen) from anaerobic digestion of hemicellulosic hydrolysate generated in the oxidative pretreatment of coffee husks”, 2018, doi: 10.1016/j.biortech.2018.05.037.
- [8] M. R. Atelge *et al.*, “A critical review of pretreatment technologies to enhance anaerobic digestion and energy recovery”, 2020, doi: 10.1016/j.fuel.2020.117494.

Metodología para el muestreo ambiental eficiente de nitrato en una finca bananera de Costa Rica

Methodology for an efficient environmental nitrate sampling in a banana plantation in Costa Rica

María Angélica Zamora Espinoza
Estudiante, Escuela de Biosistemas, UCR
correo electrónico: maria.zamoraespinoza@ucr.ac.cr

Adolfo Quesada Román
Profesor, Escuela de Geografía, UCR

Juan Pablo Rojas Sossa
Escuela de ingeniería de Biosistemas (EIB), UCR

Veda Obando Bustos
Jefe de Laboratorio Químico, Sección Suelo Planta, Corporación Bananera Nacional

Juan Salvador Chin Pampillo
Investigador, Centro de Investigación en Contaminación Ambiental, UCR
Profesor, Escuela de Biosistemas, UCR

Palabras clave:

Agua superficial, banano, ión nitrato, modelo geoespacial, suelo.

KEYWORDS:

Surface water, banana, nitrate ion, geospatial model, soil.

I. INTRODUCCIÓN

El banano (*Musa sp*) se produce en más de 130 países a nivel mundial, provee alimento e ingreso económico a familias de todos los continentes [1]. Según la Corporación Bananera Nacional [2], Costa Rica en 2019 exportó cerca de 2,1 millones de toneladas métricas de banano, esto equivale a 121 millones de cajas.

En el cultivo de banano, se aplican fertilizantes con el fin de cubrir los requerimientos nutricionales de la planta, estos insumos permiten aportar nutrientes al suelo para aumentar la productividad y poder satisfacer la demanda del producto [3]. El nitrógeno (N) es un elemento que es esencial pero limitante para los sistemas biológicos [4], es absorbido por las plantas como ión nitrato (NO₃⁻), y en ocasiones, se pierde fácilmente por procesos de lixiviación y escorrentía superficial debido a su movilidad [3].

Si bien la presencia del ión nitrato forma parte del ciclo natural del nitrógeno, hay factores antropogénicos que han causado que las concentraciones de nitrato aumenten y provoquen efectos indeseados [5]. La acumulación de nitrato tanto en el suelo como en el agua tiene impactos en el cambio climático ya que se asocia con la emisión de gases de efecto invernadero, además, puede causar eutrofización y proliferación de algas tóxicas en aguas receptoras [6]. Por otra parte, la lixiviación del nitrato a zonas saturadas del suelo puede contaminar las aguas subterráneas según la concentración [7].

Tomando en cuenta lo anterior, es necesario buscar metodologías eficientes para realizar monitoreos ambientales que permitan cuantificar la concentración de ión nitrato tanto en la matriz de suelo como en el agua superficial. Esto les permitiría a los productores bananeros definir alternativas para disminuir el impacto ambiental que su industria pueda causar [8].

Este proyecto elabora una propuesta de muestreo de los niveles de ión nitrato en aguas superficiales y suelos para un monitoreo ambiental eficiente en una finca bananera del Caribe costarricense. Se realiza un modelo geoespacial acompañado de análisis químicos para la identificación de la presencia del ión. El proyecto se desarrolla en colaboración con la Corporación Bananera Nacional (CORBANA) en una finca bananera ubicada en el distrito de Siquirres.

II. METODOLOGÍA

El área de estudio de esta investigación es en una parcela de 40 hectáreas ubicada en la provincia de Limón, Costa Rica.

Primero, se obtiene un modelo geoespacial a partir de la superposición de capas de datos geomorfológicos en el programa ArcGIS versión 10.6 [9]. Las capas son: Modelo Digital de Elevación (DEM), Índice de Humedad Topográfica (TWI), Índice de Rugosidad del Terreno (TRI), características del suelo y carga de nitrato aplicado.

Posteriormente, se establece un programa de muestreo de suelo y de agua superficial para la validación del modelo geoespacial. Se toman muestras semanalmente en cinco puntos prioritarios a la entrada de los canales terciarios. Las muestras de agua superficial se obtienen de trampas de escorrentía y las de suelo con un barreno. El análisis de la concentración de ión nitrato se realiza en Laboratorio Químico de CORBANA S.A. Además, se realiza un modelo lineal generalizado (GLM por sus siglas en inglés) en el programa R Studio [10], para identificar el aporte de cada una de las variables al modelo geoespacial.

Por último, se desarrolla el manual detallado con la metodología de muestreo de los niveles de concentración de ión nitrato, se explica paso a paso el procedimiento necesario para obtener el modelo geoespacial, así como las especificaciones para realizar el muestreo.

III. RESULTADOS

La metodología propuesta permite generar un manual para el monitoreo ambiental eficiente del ión nitrato tanto en suelo como en agua superficial en fincas bananeras del Caribe costarricense.

Además, los datos geomorfológicos son suficientes para identificar zonas con tendencia a concentrar áreas de mayor humedad y por ende concentración del ión nitrato para diseñar el muestreo de una forma eficiente. Por otra parte, identifica las variables geomorfológicas que tienen mayor aporte en el modelo geoespacial para establecer el mínimo de información necesaria y relevante para replicarlo. Optimizando este modelo, se utilizan los recursos de forma eficiente.

IV. REFERENCIAS

- [1] P. L. Kumar, R. Selvarajan, M. L. Iskra-Caruana, M. Chabannes, and R. Hanna, *Biology, etiology, and control of virus diseases of banana and plantain*, 1st ed., vol. 91, no. 1. Elsevier Inc., 2015.
- [2] CORBANA, “Banano de Costa Rica – Corbana,” *Corbana*. 2020.
- [3] A. López and J. Espinosa, “Manual de Nutrición y fertilización del banano,” *Int. Plant Nutr. Inst.*, 1995.
- [4] M. Udvardi et al., “A Research Road Map for Responsible Use of Agricultural Nitrogen,” *Front. Sustain. Food Syst.*, vol. 5, no. May, pp. 1–18, 2021.
- [5] F. Serio et al., “Science of the Total Environment Groundwater nitrate contamination and agricultural land use : A grey water footprint perspective in Southern Apulia Region (Italy),” *Sci. Total Environ.*, vol. 645, pp. 1425–1431, 2018.
- [6] H. R. Nodeh, H. Sereshti, E. Z. Afsharian, and N. Nouri, “Enhanced removal of phosphate and nitrate ions from aqueous media using nanosized lanthanum hydrous doped on magnetic graphene nanocomposite,” *J. Environ. Manage.*, vol. 197, pp. 265–274, 2017.
- [7] P. Huang et al., “Science of the Total Environment Nitrate accumulation and leaching potential reduced by coupled water and nitrogen management in the Huang-Huai-Hai Plain,” *Sci. Total Environ.*, vol. 610–611, pp. 1020–1028, 2018.
- [8] H. J. Di and K. C. Cameron, “Nitrate leaching in temperate agroecosystems: Sources, factors and mitigating strategies,” *Nutr. Cycl. Agroecosystems*, vol. 64, no. 3, pp. 237–256, 2002.
- [9] Esri.org, “GIS Mapping Software, Location Intelligence & Spatial Analytics | Esri,” *Esri.Org*. 1999.
- [10] The R Foundation, “R: The R Project for Statistical Computing.” 2018.

Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de un conglomerante mediante pruebas experimentales, para su eventual uso en construcciones sobre la superficie lunar

Evaluation of physical and mechanical properties of a conglomerate through experimental testing for further use in moon-based construction

Morelia de los Ángeles Soto Garro
Estudiante, Escuela de Ingeniería Civil, UCR
correo electrónico: morelia.soto@ucr.ac.cr

María Rebeca Tenorio López
Estudiante, Escuela de Ingeniería Química, UCR

Palabras clave:

ARENA SÍLICA, bases lunares, conglomerante, regolito, resina.

Keywords:

CONGLOMERATE, lunar bases, regolith, resin, silica sand.

I. INTRODUCCIÓN

En este informe se evalúan las propiedades físico-mecánicas de una mezcla de arena sílica con resina poliéster sin la adición de agua, como parte una investigación de varios compuestos conglomerantes. Se muestra la dependencia entre la concentración de resina y la resistencia a la compresión. Aspectos como la dosificación resina-arena sílica, moldeado, trabajabilidad y tiempo de curado son también abordados.

El cemento es el conglomerante utilizado para la construcción durante los últimos siglos. Es de fácil acceso en nuestro planeta, sin embargo, su fabricación en la Luna sería sumamente costoso y según [2], el envío de carga a la Luna representa un costo de aproximadamente 1 millón de dólares por kilogramo, lo que hace que esta alternativa sea muy poco viable. Aunado a la falta de acceso al agua en ambientes hostiles, se hace necesario utilizar materiales in situ, disminuir la cantidad de materia prima transportada y evitar depender de la hidratación. Por esto, el objetivo del proyecto es encontrar un conglomerante que prescindiera del uso de agua y la dosificación de mezcla que minimice costos.

Se han realizado investigaciones con diferentes conglomerantes para la construcción en la superficie lunar. Los más representativos son:

- Concreto de sulfuro: el más investigado, presenta un buen comportamiento en ambientes agresivos pero su uso es limitado ya que su temperatura de descomposición es menor a la alcanzada en los polos de la Luna [3].

- Concreto de polímero: se han utilizado polímeros en polvo y líquidos, como el polietileno en polvo usando altas temperaturas, su principal desventaja es que deben transportarse al lugar [4].

En este estudio, se propone como alternativa el uso de arena sílica y la resina poliéster como conglomerante. Los resultados presentados, forman parte de una investigación de materiales en desarrollo.

II. METODOLOGÍA

Los materiales utilizados fueron: arena sílica (por ser el principal componente del regolito lunar y su fácil acceso) y el compuesto polimérico resina poliéster (debido a sus buenas propiedades físicas y mecánicas, fácil curado, protección UV y bajo costo, poseen viscosidades de 500 cp, no requiere agua y posee una temperatura máxima de operación de 200-250 °C) con su catalizador (agente acelerador del proceso de polimerización de la resina poliéster). Vaselina, lubricante DW-40 y plástico se utilizaron para evitar la adherencia de las mezclas a los moldes; se utilizó acetona como diluyente de la resina. Para aspectos de moldeado y dosificación, se tomó como referencia las cantidades definidas en [1], así, la mezcla 1 se realizó con un 33% en masa de resina. Para probar la dependencia entre la resistencia y la cantidad de conglomerante, así como apuntar a la disminución del mismo, se redujo la cantidad de resina a un 15% y 10%, para las mezclas 2 y 3 respectivamente. La mezcla 4 fue una modificación la mezcla 1, al agregar un 5% de la masa de resina en acetona, para disminuir la cantidad de resina y aumentar trabajabilidad. Las mezclas 1 y 4 contaron con 3 especímenes, mientras que las 2 y 3 contaron con 1, pues el objetivo inicial fue asegurar el dominio del moldeado y dosificación sin incurrir en desperdicios de material. La investigación con distintas concentraciones y otros polímeros está actualmente en desarrollo. Todo el proceso se lleva a cabo en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme UCR).

III. RESULTADOS

Como muestra el CUADRO I, a menor la cantidad de resina menor resistencia a la compresión. Este comportamiento cumple con lo esperado, pues se disminuye la cantidad de material que permite la unión de la arena, por lo que la cantidad de cadenas poliméricas formadas disminuye resultando en una baja de la resistencia del material. Si bien un aumento en la cantidad de conglomerante favorece la resistencia, representa un encarecimiento del producto y, por tanto, una disminución en su factibilidad. En estudios realizados con concretos de polímero como el realizado en [4], se han obtenido resistencias a la compresión de 105 kg/cm², valor ligeramente superior al menor obtenido en este proyecto, lo cual muestra que se han obtenido resultados prometedores. Igualmente, al comparar con la resistencia a la compresión del concreto comercial (200-300 kg/cm²), se puede observar que la mayoría de los resultados se encuentran dentro del rango aceptable para aplicarse en la Tierra. En cuanto a la trabajabilidad, se observó que, a menor tiempo de mezclado, más fácil resultó el moldeado, apisonado y enrasado. En adición, la inclusión de acetona permitió contar con una mezcla mucho más fluida para el moldeado y económica.

El tiempo de curado al que se sometieron los especímenes estuvo condicionada a la disponibilidad horaria de las investigadoras y del personal técnico del Lanamme. Según el fabricante, la resina seca en 24 horas, por esto se utilizaron tiempos de curado cortos. Se planea realizar la estandarización de los tiempos para revisar la relación ente esta variable y el cambio de la resistencia a la compresión.

CUADRO I
RESULTADOS DE LAS VARIABLES SEGÚN EL TIPO DE MEZCLA.

Tipo de mezcla	Concentración resina en masa [%]	Tiempo de curado [días]	Resistencia promedio a la compresión [kg/cm ²]
Mezcla 1	33	7	502
Mezcla 2	15	2	253
Mezcla 3	10	2	102
Mezcla 4	10	7	337

IV. RESULTADOS ESPERADOS

Es de esperar que, al estandarizar los tiempos de curado y la cantidad de especímenes por mezcla, se obtengan resultados comparables que permitan un mejor entendimiento del material y adecuarlo para soportar condiciones ambientales hostiles (radiación, gradientes de temperatura, etc.). Con respecto al uso de otros conglomerantes, se prevé que la resistencia a la compresión también disminuya a menores concentraciones del químico, así como disminuir el tiempo de curado con la experimentación con polímeros sólidos o fundibles.

V. REFERENCIAS

- [1] ASTM, *Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico* (ASTM C109). ASTM Compass, USA: ASTM, 2020 [en línea]. Disponible en: https://compass-astm-org.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/EDIT/html_annot.cgi?C109+20b
- [2] J. Lee, K. Ann, T. Lee, B. Mitikie, “Bottom-up heating method for producing polyethylene lunar concrete in lunar environment”, en *Advances in Space Research*, vol. 62(1), 2018, pp. 164-173 [en línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.03.039>
- [3] Baasch, J., Windisch, L., Koch, F., Linke, S., Stoll, E., Schilde, C., Isachenkov, M., Chugunov, S., Akhatov, I., Shishkovsky, I, “Regolith-based additive manufacturing for sustainable development of lunar infrastructure-An overview”, en *Acta Astronautica*, vol 182, 2021, pp. 650-678 [en línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2021.01.045>
- [4] Wilhelm, S., Curbach, M, “Review of possible mineral materials and production techniques for a building material on the moon”, en *Structural Concrete*, vol. 15(3), 2014, pp. 419-428 [en línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/suco.201300088>

Conversión de glicerol a ácido láctico mediante catálisis heterogénea en fase gas

Conversion of glicerol to lactic acid by heterogeneous catalysis in gas phase

Brian Alvarado Zúñiga

Estudiante de Ingeniería Química, UCR

Alessandra Elizondo Quirós

Estudiante de Ingeniería Química, UCR

Bárbara Miranda Morales

Investigadora principal, Escuela de Ingeniería Química, UCR

correo electrónico: barbara.mirandamoraes@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Ácido láctico, alúmina, catálisis, dióxido de titanio, glicerol.

Keywords:

Alumina, catalysis, glycerol, lactic acid, titanium dioxide.

I. INTRODUCCIÓN

Debido a la actividad humana, los niveles de contaminación tanto en cuerpos de agua como en el aire han ido en aumento debido al uso de combustibles fósiles. Como respuesta a esta problemática se ha visto el biodiesel como una fuente de energía renovable para disminuir la dependencia de este tipo de combustibles y así mejorar las condiciones del medio ambiente. Sin embargo, de la producción de biodiesel se obtiene glicerol como subproducto en exceso, por lo que se ha investigado cómo aprovecharlo.

En relación con ello, se ha incursionado en la transformación de glicerol en diferentes productos útiles mediante procesos de deshidratación, hidrogenólisis, oxidación selectiva y fermentación. Uno de estos productos es el ácido láctico el cual es de gran relevancia industrial ya que para el 2008 el requerimiento mundial fue de 260 000 ton y para el año 2020 se pronosticó a más de un millón de toneladas [1]. Algunas de sus aplicaciones están relacionadas con la industria alimenticia (como acidulante, preservante e inhibidor del deterioro bacterial), cosmética (hidratante) y textil [2]. Adicional a esto, es muy común su uso como regulador de pH y en la producción del biopolímero ácido poli-láctico (PLA) el cual tiene aplicaciones como termoplástico debido a su alta resistencia y alto módulo, por lo que cuenta con aplicaciones médicas tales como producción de suturas para cirugías, implantes ortopédicos y producción de cápsulas debido a su biodegradabilidad y

biocompatibilidad [3]. El ácido láctico puede ser sintetizado industrialmente vía química y por fermentación microbiana. Sin embargo, cada uno de esos métodos tiene sus limitaciones, tales como baja productividad y eficiencia, y complicaciones en los procesos de purificación del producto [4]. Por lo que, en la presente investigación se estudia la conversión de glicerol a ácido láctico mediante catálisis heterogénea en fase gas. Se estudiaron diferentes catalizadores para ello.

II. METODOLOGÍA

Preparación de catalizadores: se escogieron diferentes soportes (CaO, ZnO, MgO, TiO₂, γ -Al₂O₃) y se impregnaron con una sal de cobre. Se sometieron a procesos de secado, tamizado y reducción antes de cada reacción química [5].

Conversión de glicerol: Las reacciones fueron llevadas a cabo en un reactor tubular de lecho fijo y se efectuaron durante 5 h con un flujo de nitrógeno de 150 mL/min, empleando una disolución de glicerol al 5 %v/v y 200 mg de catalizador [5]. Los productos obtenidos fueron identificados mediante HPLC. El esquema del sistema empleado se muestra en la Fig. 1.

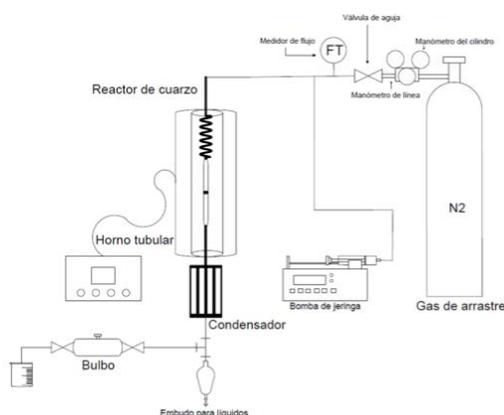


Fig. 1. Montaje del sistema de reacción.

En una primera fase se estudiaron los 5 catalizadores bajo las mismas condiciones de trabajo. Para la segunda fase, se estudiaron los catalizadores Cu/TiO₂ y Cu/ γ -Al₂O₃ a diferentes temperaturas de reacción.

Caracterización: Los catalizadores que dieron mayor concentración de ácido láctico fueron caracterizados mediante técnicas como XRD, SEM, EDX, TPD-NH₃, y Fisisorción de N₂.

III. RESULTADOS

En la Fig. 2a se muestra la conversión de glicerol obtenida durante el estudio de los 5 catalizadores, como se puede observar, la máxima conversión lograda es del 71 % con el catalizador Cu/ γ -Al₂O₃, sin embargo, ésta cae hasta el 40 % en 5 h de reacción. Los demás catalizadores presentan

conversiones que van del 40 % al 15 % durante la primera hora de reacción, además se observa que todos los catalizadores sufren desactivación dado que su conversión cae hasta valores menores al 10 %. En cuanto a la formación de ácido láctico (Fig. 2b), éste solo fue identificado entre los productos obtenidos con los catalizadores Cu/TiO_2 y $\text{Cu}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, siendo el primero el que generó una concentración mayor, de aproximadamente 3 g/L a 2 g/L de ácido láctico durante las 5 h de reacción. Esto puede deberse a las presencia de sitios ácidos de Lewis en ambos catalizadores, los cuales contribuyen a favorecer la deshidratación del glicerol como primer paso hacia la formación de ácido láctico [6]. Además, también presentan sitios básicos, en mayor medida en el TiO_2 , y de acuerdo con Albuquerque et al., [7], estos sitios básicos favorecen la transformación del piruvaldehído hacia ácido láctico, lo cual fue evidente para este catalizador (Fig. no mostrada).

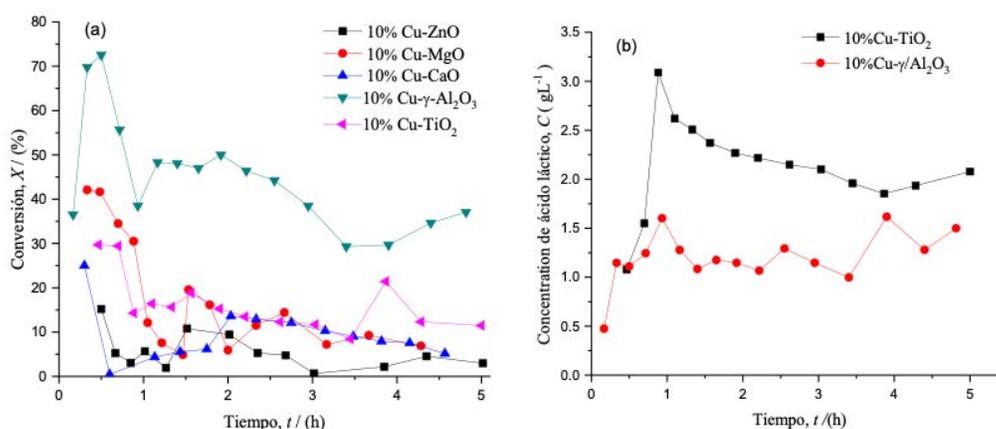


Fig. 2. (a) Conversión de glicerol vs tiempo, y (b) Concentración de ácido láctico vs tiempo.

Los otros catalizadores estudiados dieron paso a la formación de hidroxiacetona y piruvaldehído principalmente. El ácido láctico no se obtuvo, esto podría deberse a la baja presencia de sitios ácidos en estos soportes (ZnO , CaO ; MgO). La presencia de sitios ácidos es un factor determinante para mover el equilibrio entre el piruvaldehído y el ácido láctico en la reacción de Cannizzaro [7]. Por otra parte, el CaO y el MgO , sin la adición de una base, pueden reaccionar con el agua y formar sus respectivos hidróxidos metálicos, esto provoca que disminuya la reactividad del medio y la posibilidad de formación del ácido láctico [8]. Durante el estudio de la fase II, se evidenció que el catalizador Cu/TiO_2 produce una mayor concentración de ácido láctico (3.5 g/L) a una temperatura de reacción de 553 K, mientras que para el $\text{Cu}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ la tendencia no fue tan clara, se considera que la temperatura de 593 K fue la más adecuada. Estos catalizadores fueron caracterizados con el fin de obtener algunas de sus propiedades físicas y químicas, mediante XRD se evidenció la presencia de las fases $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, TiO_2 tanto como anatasa y como rutilo, y cobre metálico. No se encontró óxidos de cobre. Además, mediante fisisorción de N_2 se encontró el que $\text{Cu}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ presenta un área superficial de 160 m^2/g mientras que en el Cu/TiO_2 fue de 45 m^2/g . Mediante la técnica de desorción por temperatura programa de NH_3 se evidenció que el $\text{Cu}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ presenta

sitios ácidos tanto débiles como fuertes, mientras que el Cu/TiO₂ presenta menor cantidad de sitios ácidos fuertes.

IV. REFERENCIAS

- [1] M. Pagliaro, "Glycerol: The Renewable Platform Chemical," Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2017.
- [2] N. Razali, y A. Z. Abdullah, "Production of lactic acid from glycerol via chemical conversion using solid catalyst: A review," *Appl. Catal. A: Gen.*, vol. 543, pp. 234–246.
- [3] G. M. Lari, R. García-Muelas, C. Mondelli, N. López, y J. Pérez-Ramírez, "Glycerol oxidehydration to pyruvaldehyde over silver-based catalysts for improved lactic acid production," *Green Chem.*, vol. 18, no 17, pp. 4682-4692, ag., 2016.
- [4] T. Ghaffar et al., "Recent trends in lactic acid biotechnology: A brief review on production to purification," *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, vol. 7, no 2, pp. 222-229, abr. 2014.
- [5] B. Alvarado, "Evaluación del efecto de las condiciones de operación en la síntesis de ácido láctico a partir de glicerol mediante catálisis heterogénea en fase gas," tesis de Licenciatura, Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica, San José, 2020.
- [6] J. Szanyi y J. H. Kwak, "Dissecting the steps of CO₂ reduction: 1. The interaction of CO and CO₂ with γ -Al₂O₃: an in situ FTIR study," *Phys. Chem. Chem. Phys.*, vol. 16, n°29, pp. 15117–15125, 2014.
- [7] E. M. Albuquerque, L. E. P. Borges, M. A. Fraga, y C. Sievers, "Relationship between Acid-Base Properties and the Activity of ZrO₂ -Based Catalysts for the Cannizzaro Reaction of Pyruvaldehyde to Lactic Acid," *ChemCatChem*, vol. 9, n°14, pp. 2675-2683, 2017.
- [8] L. Chen, S. Ren, y X. P. Ye, "Lactic acid production from glycerol using CaO as solid base catalyst," *Fuel Processing Technology*, vol. 120, pp. 40–47, 2014.

Cinética del calentamiento del café con forma elipsoidal durante la torrefacción

Grain temperature kinetic in peaberry coffee during the roasting

Guillermo A. Vargas Elías

Investigador CIGRAS, Escuela de Agronomía

correo electrónico: guillermo.vargaselias@ucr.ac.cr

Carlos D. Cerdas Gerena

Escuela de Ingeniería en Biosistemas

Palabras clave:

Ajuste matemático, calentamiento, caracolillo, Coffea arabica, tueste.

Keywords:

Coffea arabica, ellipsoidal shape, heating, mathematic model, roasting.

I. INTRODUCCIÓN

El café beneficiado debe tostarse para obtener el sabor y el aroma característico de la bebida, principalmente cuando se trata de un café de calidad en función del procesamiento, el proceso de torrefacción debe ser controlado para que sea capaz de analizar lotes particulares, como el café denominado natural, miel y lavado, proveniente del beneficiado por la vía seca, semiseca y la húmeda, respectivamente [1].

El calor se transfiere del tostador a los granos, en forma de calor sensible y calor latente, para promover primeramente un cambio de estado en el agua contenida en los granos y posteriormente acciona las reacciones químicas, que transforman la materia seca según el nivel de torrefacción del café [2].

Las etapas principales del proceso de torrefacción pueden resumirse en tres procesos fundamentales secamiento, torrefacción y enfriamiento [3]. El vapor del secamiento y la liberación del CO₂ liberado en la torrefacción ocurren simultáneamente cuando la temperatura en los granos en la forma planos convexos superan 185 °C, produciendo cambios significativos en las propiedades físicas [2].

Se adaptó al tueste del café una ecuación basada en que principios físicos de transferencia de calor y masa, los resultados preliminares han mostrado su eficacia en relación a la temperatura del proceso [2], al efecto de la masa de granos [3] y en la aplicación a otro grano, como el cacao [4].

El café elipsoidal representa una oportunidad para los productores para comercializar un café diferenciado, debido a su baja probabilidad en la plantación, donde un análisis granulométrico

determinó que su presencia fue entre 5 y 15 % en las muestras obtenidas de 12 beneficios de la Zona de los Santos [5].

La rapidez de la torrefacción es afectada tanto por las condiciones del proceso como por las características de los granos, por esa razón se usaron granos con forma elipsoidal en tres tamaños con el objetivo de determinar la cinética del calentamiento durante su torrefacción de una masa de granos de café.

II. METODOLOGÍA

El trabajo fue desarrollado en el Centro de Investigación de Granos y Semillas (CIGRAS) en la Facultad de Ciencias Agroalimentarias de la Universidad de Costa Rica. Fueron utilizados granos de café beneficiados de la variedad catuaí rojo *Coffea arabica* L. proveniente de las Zona de los Santos, cultivados a una altura 1800 msnm. Se realizó una clasificación física y se separó el grano elipsoide (caracolillo) manualmente en cribas oblongas de calibres número 10, 12 y 13 según metodología descrita por Alfaro [5]. Las muestras para cada tratamiento fueron de 0,6 kg.

El proceso de torrefacción se utilizó en un tostador con cilindro horizontal perforado, marca BENDIG, modelo ECO-2000 con capacidad de 2 kg. Se utilizó el máximo consumo de gas propano y el enfriamiento se realizó por succión de aire con ventilador, descrito por Bogantes et al. [6].

La medición de la temperatura del grano se realizó mediante un sensor infrarrojo portátil de la marca General, con lecturas entre -32 y 1650 °C, con un tiempo de respuesta de 0,5 s y una precisión de 0,1 °C, la transmisión de datos se realizó por medio de cable USB en diagrama descrito por Abarca [3].

La Ecuación 1 fue adaptada para la representación del calentamiento de los granos de café planos convexos en un tostador cilíndrico de muestras [2]

$$T = T_a + \frac{S}{B-K} * (e^{-Kt} - e^{-Bt}) + (T_0 - T_a) * e^{-Bt} \quad (1)$$

La temperatura de los granos T (°C) depende del tiempo instantáneo t (min), T_0 representa la temperatura inicial del grano antes del tostado y T_a es la temperatura de la pared del tostador al inicio del proceso, las constantes S , B , y K son coeficientes.

Se realizaron seis tuestes, en tres tratamientos con granos de tamaño diferente con dos repeticiones. Se ingresó el café al tostador con temperatura inicial de 280 °C y como temperatura de finalización del proceso la condición de 230 °C. El tiempo entre estas dos condiciones de tueste fue la variable respuesta, así como la temperatura de la superficie de los granos. Los coeficientes fueron determinados por regresión no lineal, el ajuste se realizó con el programa SIGMA PLOT

14.0, el grado de ajuste fue evaluado a partir del coeficiente de determinación (R^2) y el error estándar de estimación (SE).

III. RESULTADOS

Las dos repeticiones fueron similares y la torrefacción de los granos con forma elipsoidal se representó adecuadamente con la temperatura de los granos. La línea continua indica que el ajuste representa la temperatura observada en el calentamiento del café durante su torrefacción, para los tres tamaños de granos como se observa en la Fig. 1.

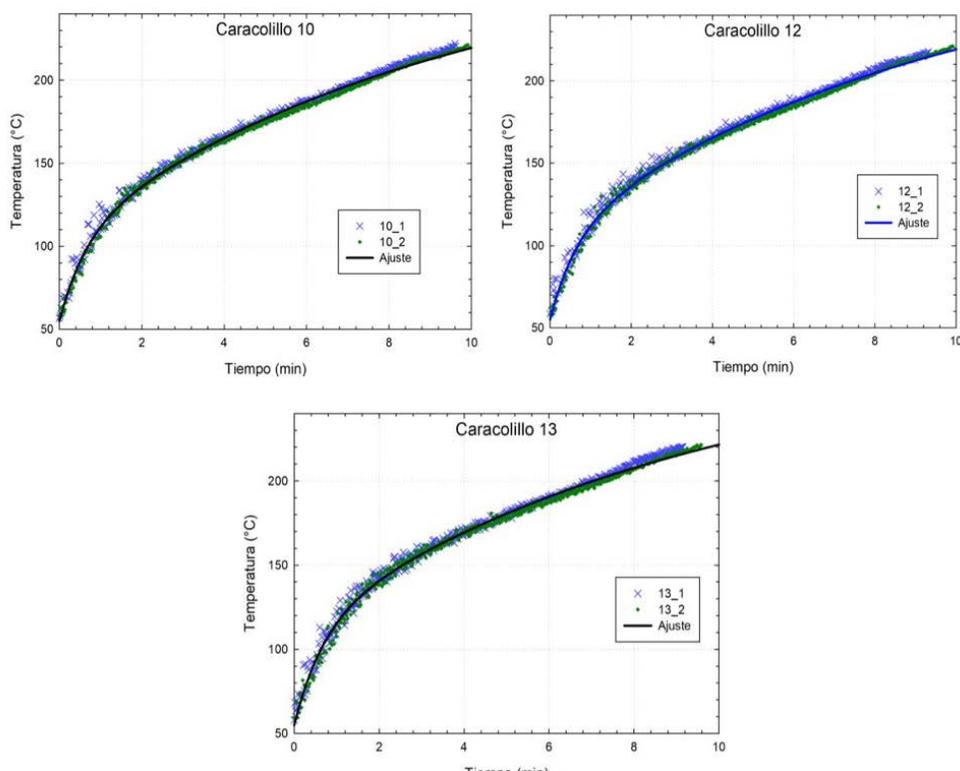


Fig. 1. Perfil de los granos de café en forma elipsoidal en dos repeticiones para tamaño 10, 12 y 13.

Al inicio del tueste se observó que hay mayor variación en la temperatura de los granos, la cual disminuyó después de 3 min y se mantuvo relativamente estable hasta el final del tueste. La forma del calentamiento del grano es similar tanto al trabajo de Schwartzberg [7], como al de Abarca [3] que usó el mismo tostador; también es comparable con los granos de mayor tamaño como el de cacao [4].

Los coeficientes se determinaron en 26 iteraciones y se observa en el CUADRO I que el parámetro B es prácticamente constante, mientras que el coeficiente S aumenta de acuerdo con el tamaño de los granos. En general la ecuación ajustó adecuadamente con coeficientes de determinación entre 99,3 y 99,6 %.

CUADRO I.
COEFICIENTES DETERMINADOS PARA LA
ECUACIÓN DEL CALENTAMIENTO DE LOS GRANOS.

Tamaño N°	S (°C)	B (°C/min)	K (min ⁻¹)	R2 (decimal)	SE (°C)
10	71,1644 (1,1582)	0,1053 (0,0004)	1,5404 (0,0324)	0,9957	2,4363
12	72,6154 (1,2405)	0,1043 (0,0005)	1,5443 (0,0342)	0,9951	2,5679
13	77,5002 (1,3398)	0,1048 (0,0006)	1,4772 (0,0342)	0,9931	3,0594

SE: Error estándar de estimación del modelo; (*): Valores entre paréntesis corresponden al error estándar del coeficiente.

La solución depende de la condición inicial del tostador 281 °C (T_a) y de la temperatura del grano medida al inicio del proceso 55 °C (T_0). El calentamiento fue más rápido para los granos de mayor tamaño (n° 13) con respecto a los granos más pequeños, según se observa en la Fig. 2.

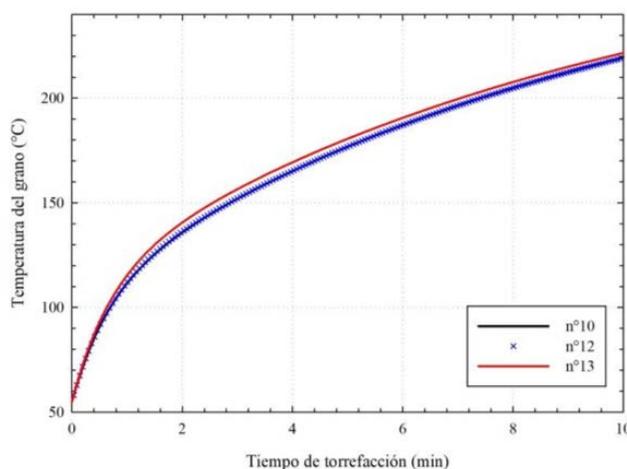


Fig. 2. Cinética del calentamiento de los granos de café durante la torrefacción en forma elipsoidal.

Los granos con tamaños 10 y 12 se calentaron similarmente. Los resultados difieren del modelo teórico propuesto para el tueste de un grano por Schwartzberg [7], la diferencia se debe principalmente al concepto del diámetro equivalente, porque granos con diámetros diferentes conllevan una variación de la masa; por lo tanto, una mayor masa requiere más tiempo en el tostador según lo demostró Abarca [3].

El calentamiento del café durante la torrefacción presentó coeficientes cuya magnitud dependieron de las características propias de los granos como el tamaño, cuando se trata granos en forma de elipsoide.

Se debe verificar la variabilidad de los coeficientes en función de la forma y el tamaño de los granos de un mismo lote, ya que entre granos planos convexos no mostraron diferencias en el perfil de tueste [8].

Se recomienda la utilización de granos con tamaños no consecutivos para determinar el efecto sobre los coeficientes del modelo matemático, ya que algunas propiedades físico térmicas fueron consideradas constantes e isotrópicas para la solución de la ecuación diferencial [2].

IV. CONCLUSIÓN

El modelo de calentamiento del grano responde satisfactoriamente a la predicción de la temperatura de los granos con forma elipsoidal durante la torrefacción.

V. REFERENCIAS

- [1] S. Barrantes-Montoya, “Efecto del Tipo de Beneficiado en la Torrefacción de los granos de café (*Coffea arabica*)”, Tesis de Licenciatura, Escuela Ing. Biosistemas, UCR, SJ, CR, 2021.
- [2] G. Vargas-Elías, “Cinética do aquecimento, expansão volumétrica e perda de massa em grãos de café durante a torrefação”, Tesis de Doctorado, Dep. Ing. Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, MG, Brasil, 2014. <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/18544>
- [3] R. Abarca-Mora, “Estudio del proceso de torrefacción del café em tostador convencional”, Tesis de Licenciatura, Escuela Ing. Biosistemas, Universidad de Costa Rica, SJ, CR, 2017.
- [4] R. Vargas-Fernández, “Análisis del secado, el equilibrio higroscópico y la torrefacción de los granos de cacao (*Theobroma cacao*)”, Tesis de Licenciatura, Esc. Ing. Biosistemas, Universidad de Costa Rica, SJ, CR, 2019. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/79255>
- [5] V. Alfaro, “Efectos de la altitud sobre las características físicas y organolépticas del café de la zona de Los Santos”, Tesis de Licenciatura, Escuela Ing. Biosistemas, Universidad de Costa Rica, SJ, CR, 2015. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/2944>
- [6] D. Bogantes-Ledezma, G. Vargas-Elías and R. Abarca-Mora, «Infrared sensor used for the capture of data from cooling process in roasted coffee,» 2017 IEEE Central America and Panama Student Conference (CONESCAPAN), 2017, pp. 1-3, doi: 10.1109/CONESCAPAN.2017.8277595.
- [7] H. Schwartzberg, “Modeling Bean Heating during Batch Roasting of Coffee Bean”, en *Engineering and Food for the 21 st Century*, Welti-Chanes J, Barbosa-Cánovas GV, Aguilera JM, Ed., USA: CRC Press, 2002, pp. 871–892.
- [8] G. Vargas-Elías, C. Cerdas-Gerena, S. Barrantes-Montoya, J. Castillo-Vives, F. Rojas-Vásquez “Efecto del tostador en el perfil de tueste en café especial con diferente tamaño”, en *Engenharia Agrônômica: Ambientes Agrícolas e seus Campos de Atuação 2*, Atena, Ed., Brasil, 2021, pp. 154–162. DOI: 10.22533/at.ed.459210405. <https://www.atenaeditora.com.br/post-artigo/49293>

Desarrollo de métodos de inmovilización para perovskitas de haluro con bismuto en microreactores

Development of immobilization methods for bismuth halide perovskites in microreactors

Hannia López
Escuela de Ingeniería Química, UCR

José A. Santamaría
Centro de Investigación en Electroquímica y Energía Química (CELEQ), UCR

Leslie W. Pineda
Escuela de Química, UCR,

Marisol Ledezma
Centro de Investigación en Electroquímica y Energía Química (CELEQ);
Escuela de Química, UCR

Esteban Durán
Escuela de Ingeniería Química;
Centro de Investigación en Electroquímica y Energía Química (CELEQ), UCR
correo electrónico: esteban.duranherrera@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Dióxido de carbono, fotocatalisis, inmovilización, microreactor, perovskitas.

Keywords:

Carbon dioxide, immobilization, microreactor, photocatalysis, perovskites.

I. INTRODUCCIÓN

La emisión de gases de efecto invernadero ha aumentado de forma acelerada, principalmente con el dióxido de carbono (CO_2), lo cual está empeorando problemáticas como el calentamiento global y cambio climático. Sin embargo, además del impacto ambiental, es importante considerar que el requerimiento energético es también uno de los principales desafíos del presente siglo. Dentro de las investigaciones actuales se encuentra la fotocatalisis para la reacción de reducción de CO_2 , la cual podría lograr equilibrar los niveles de este compuesto en la atmósfera y a su vez producir combustibles alternativos [1], utilizando energía solar. Se han utilizado diferentes semiconductores como fotocatalizadores de esta reacción, principalmente el TiO_2 ; sin embargo, este presenta limitaciones por su absorción en la región de luz UV. Dentro de las alternativas

estudiadas recientemente se encuentran las perovskitas de haluro con bismuto por sus excelentes propiedades electrónicas y ópticas, menor toxicidad, buena estabilidad, facilidad y bajos costos de fabricación [2]. Las investigaciones de esta reacción se han realizado en diferentes reactores; sin embargo, no se encontró el uso de perovskitas en microreactores, los cuales presentan grandes ventajas por su bajo requerimiento de energía, menor impacto ambiental, mayor selectividad, entre otros. En estos equipos el catalizador se inmoviliza y a pesar de la importancia que tiene la calidad de la película para poder obtener buenos rendimientos, no existen precedentes que comparen métodos de inmovilización a pequeña escala para este fin. Es por esto que el objetivo principal de esta investigación fue desarrollar y evaluar métodos de inmovilización que produjeran películas con buenas propiedades de adherencia y homogeneidad, los cuales pudieran ser posteriormente utilizados en microreactores para llevar a cabo la reacción de reducción fotocatalítica de dióxido de carbono empleando radiación solar.

II. METODOLOGÍA

En el presente proyecto se utilizaron las perovskitas $Cs_3Bi_2Cl_9$, $Cs_3Bi_2I_9$ y $Cs_4MnBi_2Cl_{12}$, las cuales fueron sintetizadas según los métodos [3] y [4], y caracterizadas mediante la determinación de su banda prohibida, difracción de rayos X (XRD), punto de fusión y solubilidad. La inmovilización de las perovskitas se realizó utilizando múltiples métodos, entre ellos *drop casting* con una y varias deposición, *drop casting* con ultrasonido, TiO_2 por *blade coating* seguido de deposiciones por *drop casting*, adición de un *binder* (metiltrimetoxisilano) y *spin coating* con varias deposiciones. Las películas generadas con estos métodos fueron puestas en un microreactor (ver Fig. 1) que se operó con un flujo de agua de $80 \mu L/min$ por 80 min y fueron evaluadas con respecto a su homogeneidad, efectos visuales del lavado y su adherencia. Las tres películas que presentaron los mejores resultados fueron caracterizadas adicionalmente mediante microscopía de barrido electrónico (SEM) y espectroscopía de rayos X (EDX).

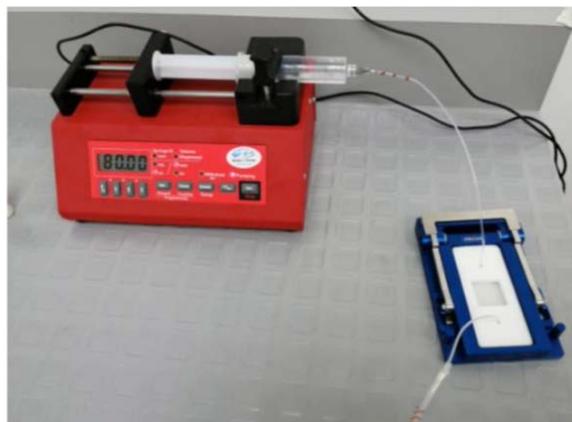


Fig. 1. Sistema de bomba con microreactor utilizados.

III. RESULTADOS

Las perovskitas se sintetizaron tanto a temperatura ambiente como por reactor de microondas y se pudo garantizar que corresponden a los compuestos deseados a través de XRD en polvo. Además, se estudió la banda prohibida y la estabilidad térmica obteniendo que los valores de banda prohibida se encuentran en la región del espectro visible y existe estabilidad debajo de los 315 °C; por lo tanto, estos compuestos pueden ser buenos fotocatalizadores y trabajar a las temperaturas de esta reacción. A partir de las caracterizaciones de homogeneidad y adherencia realizadas a las películas, se concluyó que para todos los métodos se obtuvieron mejores resultados con dos deposiciones, tanto por el aumento en la masa de catalizador, como por la disminución de la rugosidad. Los resultados obtenidos por *spin coating* no fueron satisfactorios. Los métodos que requirieron calcinación en algunos casos no presentaron diferencia con sus homólogos; sin embargo, en algunas técnicas se pudo visualizar la afectación por el craqueo y desprendimiento de las películas. Los mayores valores de masa depositada se obtuvieron con el método de adición de un *binder* y en las imágenes al microscopio se observó una mejor homogeneidad (ver Fig. 2) y menor efectos de lavado (porcentajes de lavado menores al 20 %); por estos resultados, este método fue el primero que se seleccionó para posteriores estudios. Con el método de binder termocurado también se obtuvieron buenos resultados de homogeneidad y adherencia; sin embargo, este método no se seleccionó para posterior estudio porque presentó menores masas de catalizador depositada. Las técnicas de *drop casting* con dos deposiciones y TiO₂ por blade coating con dos deposiciones por *drop casting* presentaron caracterizaciones similares produciendo las películas con los segundos mejores resultados, por lo que también se seleccionaron para posteriores estudios de fotoreducción; la primera por ser la técnica más sencilla y la segunda porque el TiO₂ puede magnificar el efecto fotocatalítico al estar unido con el principal catalizador utilizado (perovskita). Los tres métodos desarrollados y seleccionados en este estudio presentan excelentes propiedades que les permitirán ser utilizados en pruebas fotocatalíticas de reducción de dióxido de carbono e inclusive en algunas otras aplicaciones en microreactores, como por ejemplo descontaminación de aguas.

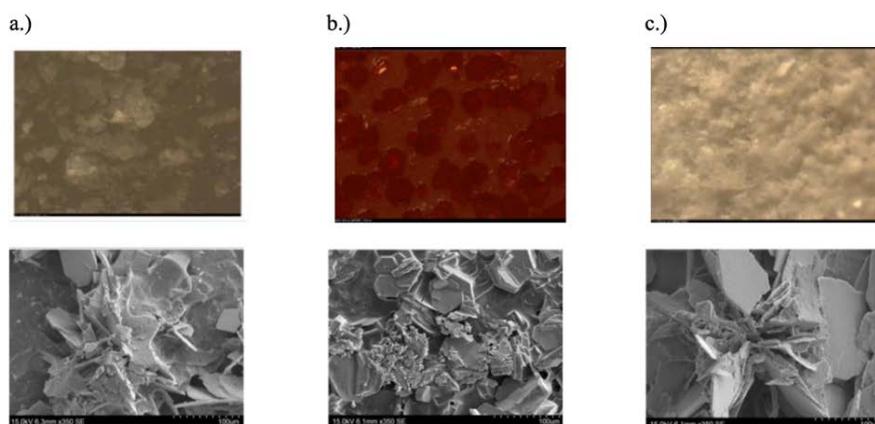


Fig. 2. Fotografías (arriba) y micrografías SEM (abajo) de las películas de perovskitas formadas mediante el método de adición de un binder (metiltrimetoxisilano): a.) Cs₃Bi₂Cl₉, b.) Cs₃BiI₉ y c.) Cs₄MnBi₂Cl₁₂.

IV. REFERENCIAS

- [1] S. Lingampalli, M. Ayyub, C. Rao, “Recent progress in the photocatalytic reduction of carbon dioxide”, *ACS Omega*, vol. 2, no. 6, pp. 2740-2748, 2017. <https://doi.org/10.1021/acsomega.7b00721>
- [2] B. Park, B. Philippe, X. Zhang, H. Rensmo, G. Boschloo, E.M. Johansson, E. M., “Bismuth based hybrid perovskites $A_3Bi_2I_9$ (A: methylammonium or cesium) for solar cell application”, *Advanced materials*, vol. 27, no. 43, pp. 6806-6813, 2015. <https://doi.org/10.1002/adma.201501978>
- [3] K. McCall, C. Stoumpos, S. Kostina, M. Kanatzidis, B. Wessels, “Strong electron–phonon coupling and self-trapped excitons in the defect halide perovskites $A_3M_2I_9$ (A=Cs, Rb; M=Bi, Sb)”, *Chemistry of Materials*, vol. 29, no. 9, pp. 4129-4145, 2017. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.7b01184>
- [4] B. Vargas, E. Ramos, E. Pérez, J. Alonso, D. Solis, “A Direct Bandgap Copper–Antimony Halide Perovskite”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 139, no. 27, pp. 9116-9119, 2017. <https://doi.org/10.1021/jacs.7b04119>

Diseño y evaluación de un soporte estructurado para la degradación fotocatalítica de contaminantes emergentes

Design and evaluation of a structured support for the photocatalytic removal of emerging contaminants

Dr. Esteban Durán Herrera
Escuela de Ingeniería Química, UCR
correo electrónico: esteban.duranherrera@ucr.ac.cr

Lic. Adrián Leiva Salas
Escuela de Ingeniería Química, UCR

Palabras clave:

Fotocatálisis, contaminantes emergentes, CFD, soporte estructurado, fotorreactor.

Keywords:

Photocatalysis, emerging pollutants, CFD, structured packaging, photoreactor.

I. INTRODUCCIÓN

Según Rosenfeld y Fen [1], los esfuerzos tecnológicos realizados en el tratamiento de aguas responden a que el agua es un recurso vital para el ser humano y por ende surge la necesidad de potabilizarla. La actividad humana ha incrementado la presencia de compuestos químicos persistentes como lo son los pesticidas, fármacos, antibióticos, tensioactivos, y productos de cuidado personal. Dichas especies químicas se denominan contaminantes emergentes (CE), ya que, aludiendo a su nombre, se encuentran en el espectro científico y de la calidad del agua desde hace poco tiempo.

Estudios colocan a Costa Rica en la extensa lista de países que enfrentan un desafío en aumento en el manejo de contaminantes emergentes [2]. De acuerdo a Ramírez y colaboradores [3], las especies encontradas que representan mayor peligrosidad son risperidona, lovastatina, difenhidramina, fluoxetina, cafeína y trimetoprima. Ante esta problemática, con esta investigación se pretende aportar en la búsqueda, mejora y desarrollo de alternativas de tratamiento de aguas residuales para la degradación de contaminantes emergentes mediante el diseño, construcción y evaluación de un soporte estructurado para un fotorreactor anular, esto utilizando técnicas de simulación de dinámica de fluidos computacional (CFD) e impresión 3D.

II. METODOLOGÍA

Inicialmente se escogió un fotorreactor anular comercial para llevar a cabo la reacción y además una geometría base del soporte estructurado conformada por una doble hélice. Posteriormente, se desarrolló mediante CFD, el modelado de la hidrodinámica, radiación, reacción superficial y el transporte de especies del sistema utilizando el software Ansys Fluent. Con el fin de obtener una cinética de reacción de degradación de cafeína en función de la radiación incidente, y emplearla en el modelo CFD, se utilizó un método actinométrico para la elaboración de un perfil de irradiancia en función de la distancia de la fuente de luz.

Seguidamente, se empleó el modelo CFD desarrollado en combinación con un diseño de experimentos virtual Taguchi L_9 (3^4). Se tomó una geometría de doble hélice como base, y en el experimento se varió elementos geométricos de la misma con el fin de encontrar la geometría del soporte estructurado más apropiada para el sistema. La estructura más apropiada fue impresa en 3D en policarbonato. A dicha estructura se le inmovilizó TiO_2 en su superficie mediante un método de anclaje químico por inmersión. Finalmente se ensambló el soporte estructurado en el reactor y se probó el rendimiento del sistema real en comparación con un sistema de fotocatalizador en suspensión en la remoción de 20 ppm de cafeína como contaminante modelo.

III. RESULTADOS

En combinación con el perfil de irradiancia UV (I), se obtuvo una cinética de reacción de degradación de cafeína de la siguiente forma

$$-r_{\text{CAF}} = 0.0004 \text{ min}^{-1} \cdot I \cdot C_{\text{CAF}} \quad (1)$$

Se introdujo en el modelo CFD la cinética de reacción y como resultado de la experimentación virtual bajo el diseño de experimentos del tipo Taguchi se encontró que la geometría de la Figura 1. presentaba la remoción máxima para los parámetros geométricos estudiados. En detalle el soporte estructurado consiste en una geometría base de doble hélice con 12 giros cada una y un grosor de 2 mm. Una rejilla de elementos cúbicos de 10 mm por lado y un grosor de 1 mm. Y doce reflectores de 2 mm x 10 mm posicionados a 20 mm y con una inclinación de 0 grados del eje radial. Además, fue posible generar un perfil de concentración de cafeína a lo largo del reactor (Figura 2) y observar mediante contornos la degradación de la sustancia en distintas zonas de interés del sistema.

Se instaló el fotorreactor anular en una configuración de recirculación y el soporte estructurado en su interior con TiO_2 inmovilizado en su superficie y se encontró que el valor de la constante intrínseca de reacción se encuentra entre $0,0531 \text{ min}^{-1}$ y $0,0682 \text{ min}^{-1}$ a partir de caudales mayores a $0,20 \text{ L/s}$. Se comparó la eficiencia real en degradación de cafeína del sistema en cuestión respecto al sistema de fotocatalizador en suspensión. Se encontró que la constante de reacción del sistema de fotocatalizador inmovilizado presenta una constante de reacción casi tres veces más grande, además de alcanzar una degradación de cafeína cercana al 100 % a los 100 minutos de reacción.

Se realizó una comparación entre los resultados obtenidos mediante la simulación CFD con aquellos obtenidos de la experimentación con el sistema real. Se obtuvo para los flujos de 0,02 L/s, 0,20 L/s, y 0,40 L/s, un porcentaje de error respecto al sistema real de 34,4 %, 16,7 % y 50,5 % respectivamente (ver Figura 3). El soporte estructurado con fotocatalizador inmovilizado no presentó deficiencia en su capacidad degradadora luego de cuatro ciclos de reacción. Se concluye que el sistema real de degradación fotocatalítica de cafeína fue modelado de manera acertada mediante las simulaciones CFD especialmente para flujos menores a 0,20 L/s.

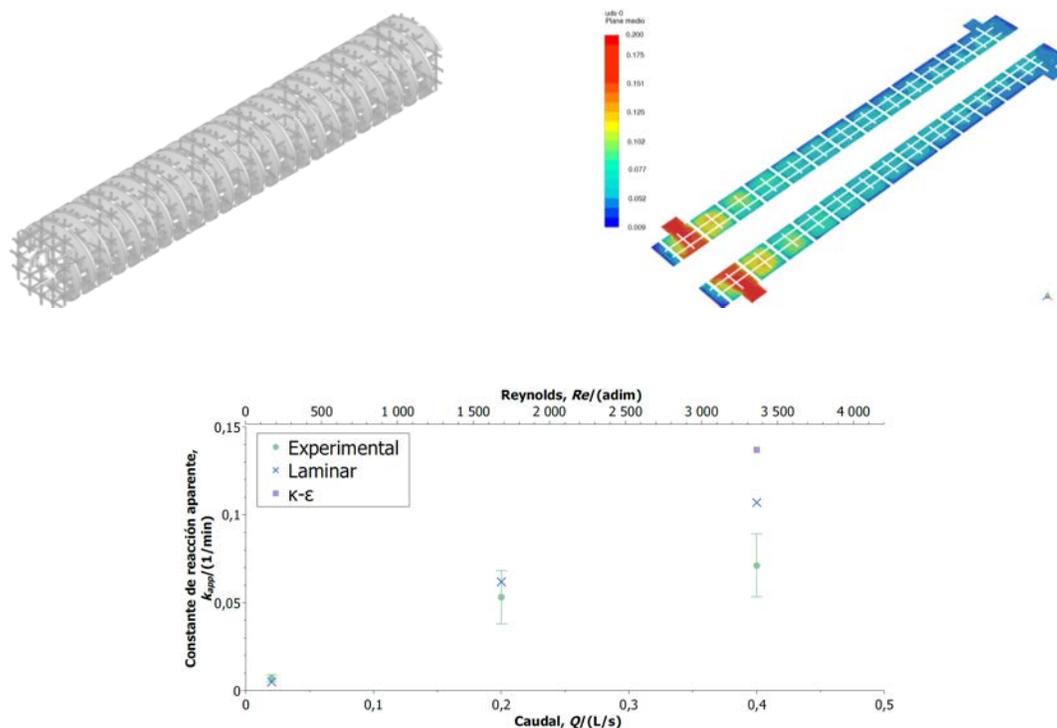


Fig. 3. Comparación de la constante de reacción aparente aproximada mediante modelado CFD y la obtenida experimentalmente.

IV. REFERENCIAS

- [1] P. E. Rosenfeld and L. G. Feng, "Risks of Hazardous Wastes", *Emerging Contaminants*, 1 ed. Oxford, United Kingdom: ELSEVIER, 2011, 16, pp. 215-222 [online]. Available in <https://www.elsevier.com/books/risks-of-hazardous-wastes/rosenfeld/978-1-4377-7842-7>
- [2] A. Spongberg et al., "Reconnaissance of selected PPCP compounds in Costa Rican surface waters", *Water Res.*, vol. 20, pp. 20-25, dec, 2011. DOI: 10.1016/j.watres.2011.10.004.
- [3] D. Ramírez et al., "Occurrence of pharmaceuticals, hazard assessment and ecotoxicological evaluation of wastewater treatment plants in Costa Rica", *Science of The Total Environment*, vol. 746, dec, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141200

Propuesta de diseño de un Complejo Ecológico para el manejo de residuos agrícolas de piña

Design proposal of an ecological complex for pineapple agricultural waste management

Roberto Andrés Navarro Mata

*Estudiante de grado de Licenciatura en Arquitectura
correo electrónico: roberto.navarromata@ucr.ac.cr*

Palabras clave:

Arquitectura agrícola, bioeconomía, biomasa, paisajes productivos agrícolas, rastrojo de piña.

Keywords:

Agricultural architecture, bioeconomy, biomass, agricultural productive landscapes, pineapple solid waste.

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de piña (*Ananas comosus*) ha sido ampliamente desarrollado en el territorio costarricense ocupando actualmente un área aproximada de 43 000 hectáreas, generando un crecimiento económico y a su vez situaciones de conflicto debido a su impacto ambiental. El manejo inadecuado de los residuos de cultivo, llamados rastrojo, afecta a las comunidades cercanas a los campos de cultivo, cuya población comparte el territorio con la extensión piñera y por tanto resulta condicionada a las dinámicas económicas y sociales de este paisaje productivo.

El rastrojo generado en Costa Rica asciende a un aproximado de 4.3 millones de toneladas al año [1], representando un reto técnico y ambiental, además el método tradicional de manejo (triturado en campo y reincorporación a suelos), expone la biomasa a una lenta degradación al aire libre, lo que puede derivar en el brote de la Mosca del Establo (*Stomoxys calcitrans*). La destrucción del rastrojo en campo anula su potencial de uso como un subproducto valorizable del cultivo de piña, aún existiendo alternativas ecológicas, que han demostrado servir de estrategias de manejo eficiente, para el aprovechamiento de sus propiedades energéticas, físicas, biológicas y químicas. [2]

Motivado por este escenario, y en el marco de realizar mi proyecto de graduación de la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Costa Rica, decidí abordar la incapacidad de implementar métodos ecológicos de reutilización del rastrojo, dada la carencia de una arquitectura especializada en la aplicación táctica de este tipo de procesos dentro de los campos de cultivo de piña, desaprovechando así el potencial de impacto socioeconómico, que puede tener la valorización ecológica del rastrojo, sobre las comunidades cercanas a los cultivos de piña.

II. METODOLOGÍA

Realicé una investigación aplicada de las estructuras sociales y productivas del poblado de Katira, ubicado en el cantón de Guatuso de Alajuela (Región Huetar Norte), de dos fincas de cultivo de piña orgánica de la empresa Caminos del Sol y de técnicas apropiadas para el manejo ecológico del rastrojo de piña. Por lo que, mediante un estudio referencial de fuentes secundarias, desarrollé una metodología de selección de las alternativas de manejo de rastrojo, la cual brinda una base teórica de las posibilidades existentes.

Posteriormente con los resultados del análisis de la zona de estudio compuse una serie de criterios técnicos, ambientales y socioeconómicos, con los que determiné un sistema de manejo integrado por tres procesos fundamentales, primeramente la extracción por descortizado mecánico de las fibras vegetales contenidas en las hojas de las planta [3], seguido por el compostaje en cámaras verticales, llamadas Unidades de Compostaje Vertical (capaces de procesar grandes volúmenes en poco tiempo y espacio reducido, aproximadamente 17.5 toneladas cada 7 días) [4], del material residual de las hojas además de la mayor parte de las raíces con tallos y finalmente el material restante de raíces y tallos se utiliza como sustrato para el cultivo de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*) [5] (Ver sistema completo en Fig.1.).

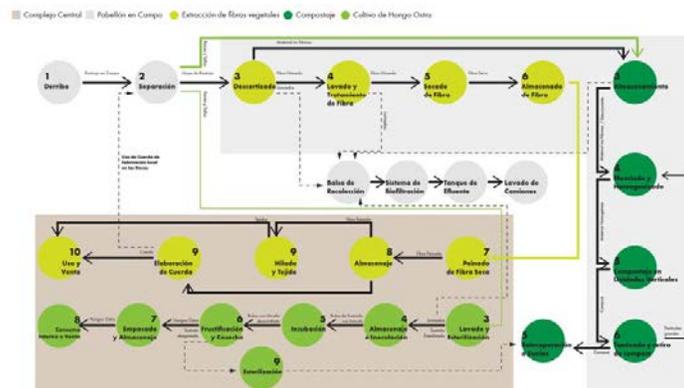


Fig. 1. Diagrama de flujo del sistema bioeconómico de manejo de rastrojo de piña en Complejo Ecológico en Katira. Procesos diferenciados por color y desarrollados en dos espacios, un pabellón dentro del campo de cultivo y un complejo especializado fuera de este.

La inserción de este sistema de manejo en las fincas El Establo y Hormonas ubicadas en Katira de Guatuso, la realicé mediante la formulación de un plan maestro que incluye la propuesta arquitectónica de un complejo ecológico que ordena y articula espacialmente los componentes del sistema de manejo, junto con los distintos espacios de acompañamiento de carácter administrativo, educativo, comercial y público; estableciendo la infraestructura necesaria para una bioeconomía rural basada en el manejo de la biomasa y la vinculación de las zonas de cultivo con la comunidad de Katira. [6]

III. RESULTADOS

El diseño arquitectónico responde con un ordenamiento espacial acorde a la estructura del territorio del cultivo de piña y a la necesidad ambiental y técnica de no movilizar el rastrojo por largas distancias; resultando en dos espacios concretos, un pabellón en campo y un complejo central fuera de este (ver Fig.2.). El sistema bioeconómico busca garantizar un impacto local, por lo que el complejo responde con especificidad a la realidad encontrada, utilizando un rastrojo inocuo dado su origen orgánico, en actividades que demandan mano de obra no especializada, proponiendo encadenamientos productivos de carácter artesanal y ecológico, que pueden emplear aproximadamente entre un 50% a 75% más de personas de lo que actualmente demanda el cultivo de piña y que en periodos de descanso del ciclo piñero, garantiza una activación económica continua al diversificar la oferta laboral.



Fig. 2. Planta de Conjunto de Complejo Ecológico en Finca el Establo, Katira de Guatuso, (A) Complejo Central, (B) Pabellón en campo.

La propuesta formal del complejo ecológico brinda una respuesta bioclimática a las particularidades de la zona, utiliza estructuras de madera laminada y cerramientos aptos para las condiciones del bosque tropical húmedo e implementa una propuesta paisajista que emplea especies vegetales nativas, para la generación de confort climático mediante el sombreado y el direccionamiento de vientos. (ver Fig.3.). Sería válido plantear también que, al haber incluido un programa de comunicación y atracción ecoturística, el complejo ecológico serviría al propósito de mejorar la proyección de la actividad piñera orgánica con un manejo responsable de sus desechos.

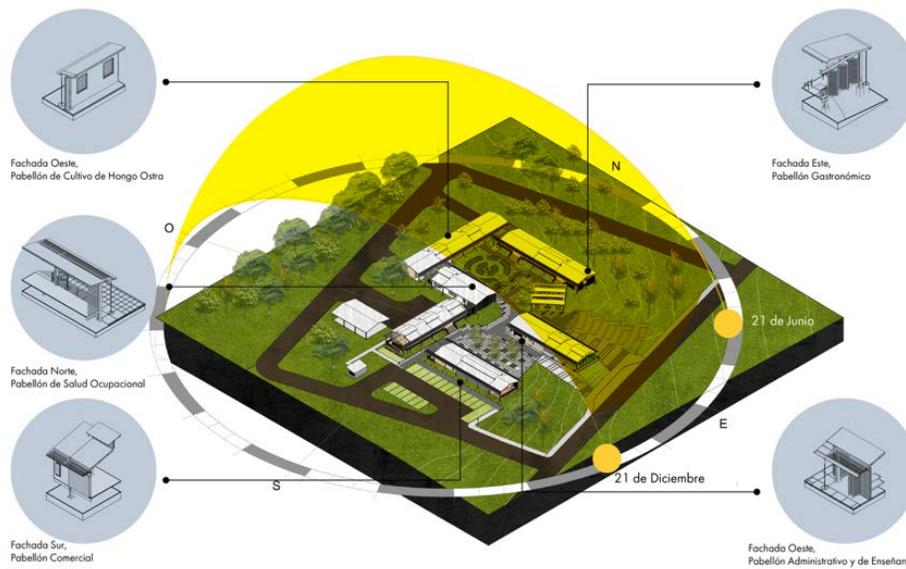


Fig. 3. Isométrico de Complejo Central con respuestas de fachadas de acuerdo con ruta solar anual y así brindar mayor confort climático en los distintos recintos de la propuesta arquitectónica.

Además, puntualizo que el proyecto lo desarrolle desde un análisis especulativo que me permitió determinar un proceso y establecer las cantidades aproximadas de generación de rastrojo en las fincas seleccionadas, por lo que es importante establecer que cualquier intento de aplicación concreto de este proyecto, primero debe contemplar mayores estudios del comportamiento del rastrojo en los procesos seleccionados y la verificación de la tasa real de generación del rastrojo. Finalmente, como proyecto que responde a una situación de escala nacional, desde una propuesta arquitectónica específica a la localidad de Katira, su formulación es única a la realidad encontrada en esta zona y no es un modelo aplicable a otras zonas, sin una debida consideración de las condiciones analizadas para su diseño.

IV. REFERENCIAS

- [1] R. Hernández and L. A. Prado, «Impacto y oportunidades de biorrefinería de los desechos agrícolas del cultivo de piña (*Ananas comosus*) en Costa Rica,» Cuadernos de Investigación UNED, vol. 10, pp. 455-468, 2018.
- [2] J. Emil de la Rocha Valverde, «Analizar alternativas económicamente factibles para la reutilización, tratamiento y disposición de desechos agrícolas críticos para el ambiente y la competitividad en la RHN,» Agencia para el desarrollo de la zona norte, San José, 2015.
- [3] E. Solís Nicolaas, Efecto de la nanocelulosa obtenida del desecho del rastrojo de piña en mezclas cementicias de mortero hidráulico, San José: Universidad de Costa Rica, 2018.
- [4] Traco Iberia, «RETEMA, Revista técnica del medio ambiente,» 29 Octubre 2020. [Online]. Available: <https://www.retema.es/noticia/solucion-para-el-tratamiento-de-biorresiduo-en-plantas-deslocalizadas-y-al-minimo-cos-unqfu>. [Accessed Agosto 2019].

- [5] G. Espinales , Alternativas de manufactura en la industria de la piña orgánica para pequeños productores de Pital de San Carlos, Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2012.
- [6] O. Schmid, S. Padel and L. Ledidow, «The Bio-Economy Concept and Knowledge Base in a Public Goods and Farmer Perspective,» Bio-based and Applied Economics, pp. 47-63, 2012.

Análisis y diseño hidráulico para la conducción y el suministro de agua potable en la comunidad de El Manzano, Jericó de Desamparados

Hydraulic analysis and design for the conduction and supply of drinking water in the community of El Manzano, Jericó de Desamparados

Ricardo Valverde Jiménez

Estudiante de Ingeniería Agrícola, UCR

Ing. Gustavo Díaz Gutiérrez, M.A.E

Profesor de la Escuela de Ingeniería Agrícola, UCR

Ing. Alejandra Rojas González, PhD

Profesor de la Escuela de Ingeniería Agrícola, UCR

Ing. Marco Hernández Arguedas

Ingeniero de Instituto de Acueductos y Alcantarillados (AyA)

Palabras clave:

Acueducto, agua, caudal, presión, tubería.

Keywords:

Aqueduct, water, flow, pressure, pipe.

I. INTRODUCCIÓN

El proyecto se desarrolla en la comunidad de El Manzano, ubicado entre en las coordenadas con proyección CRTM05 Datum WGS84, 492200 y 493600 latitud, mientras que longitud entre 1084400 y 1085600. Desde su fundación no cuenta con un adecuado sistema de distribución de agua potable, por tal motivo, sus habitantes constantemente tienen problemas con el suministro del líquido hacia sus hogares, lo que dificulta la realización de las labores diarias. La zona presenta una topografía con pendientes pronunciadas, entre 20 % y 60 %; por lo que el acueducto funcionará como una red abierta, se establece una población futura de diseño para el año 2050 de 373 personas. El acueducto debe tener la capacidad para satisfacer una demanda de Caudal Máximo Horario de 2,08 l/s. Aforos realizados a las nacientes indican un caudal en época de estiaje (abril) de 0,438 l/s, mientras que la mayor producción 1,474 l/s, se da en octubre, como resultado, éstas no satisfacen la demanda. Los análisis de laboratorio fisicoquímicos y biológicos indican que el agua proveniente de las nacientes es potable.

La propuesta del presente proyecto, tiene como finalidad solventar la problemática que conlleva no tener un 100 % de disponibilidad del agua, para la población de El Manzano.

Los vecinos de El Manzano, lucharon para establecer una ASADA, a través de la cual obtener el financiamiento y los permisos, requeridos para concretar la construcción del acueducto en la comunidad, sin embargo para el año 2020, la institución Acueductos y Alcantarillados (AyA), en conjunto con el Ministerio de Salud, emitieron la orden de no aprobación de dicha ASADA, paralelo a ello, dieron la indicación de que el AyA, será la entidad a cargo, del diseño, construcción y operación del acueducto, garantizando así, el derecho a tener 100 % de disponibilidad en el uso de agua potable; puesto que “cualquier población, por pequeña que ésta sea, debería contar como mínimo con los servicios de acueducto y alcantarillado, si se espera de ella un desarrollo social y económico” [1].

En respuesta a lo anterior indicado se decide trabajar en conjunto; Universidad de Costa Rica, específicamente la Escuela de Ingeniería de Biosistemas, con Acueductos y Alcantarillados, para establecer estrategias que permitan tener un desarrollo óptimo de diseño y construcción del acueducto para la comunidad de El Manzano, acorde a las necesidades que en ella imperan.

Para hacer posible la puesta en marcha de un acueducto de agua potable, es indispensable saber, cuáles son las variables necesarias a estudiar y analizar: una fuente de abastecimiento, obra de captación, obra de conducción, sistema para tratamiento del agua, obras para almacenamiento y distribución del agua [1].

Por otra parte, en Costa Rica el AyA es el ente encargado de dar las directrices para el diseño y construcción de un acueducto. En su normativa, el AyA indica que es necesario conocer la población a abastecer en años futuros, determinar la fuente energética para mover el agua; la gravedad o impulsión por bombeo, paralelo a ello, establece la necesidad de utilizar materiales certificados en las obras de infraestructura hidráulica, cuyo propósito es garantizar que el sistema siempre opere de forma segura [2].

II. METODOLOGÍA

El trabajo se dividió en 5 etapas:

Reconocimiento de las condiciones actuales de abastecimiento de agua.

Se hizo un recorrido a través de los diferentes sectores donde se ubica la infraestructura actual del acueducto, tales como nacientes, tanques de almacenamiento, y tubería (manguera de poliducto reciclado).

Determinación del perfil planimétrico del área de influencia del acueducto.

Se realizó con ayuda de la escuela de Ingeniería Topográfica de la Universidad de Costa Rica, la Estación Total Sokkia modelo SET650SX fue utilizada para hacer el levantamiento del planiperfil de la superficie de suelo, sobre la cual se instalará la tubería, en conjunto con una estación Real Time Kinematic (RTK) marca TRIMBLE.

Estimación de la población futura para el año 2050.

Se tomaron datos de los censos realizados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, de los años 2000 y 2011, paralelo a ello se realizó un censo a la población de El Manzano en el año 2020, con los datos obtenidos se hicieron proyecciones matemáticas poder conocer la población al año 2050.

Modulación y análisis del diseño hidráulico propuesto, mediante el software EPANET.

Una vez obtenidos los datos de población futura, y los del perfil planimétrico, fue posible realizar la modelación mediante software computarizado EPANET versión 2.0, esto permitirá poder conocer de forma real como será el comportamiento del acueducto, cuando éste se encuentre en operación.

Análisis financiero de la construcción del acueducto para la comunidad de El Manzano.

Etapa a la espera de ser desarrollada.

III. RESULTADOS

La población de El Manzano, al año 2021, no posee un acueducto de agua potable que satisfaga las condiciones mínimas de diseño, impuesta por el AyA.

Actualmente la población de El Manzano cuenta con un total de 234 habitantes, mientras que la población proyectada para el año 2050, es de 341 personas.

Hay un total de seis servicios no domiciliarios; mismos que son: Escuela Primaria, Salón Comunal, Iglesia Católica, Plaza de deportes, Minisuper, Local Comercial, cuyos servicios equivalen a 11,5 servicios domiciliarios, no se proyecta crecimiento de este tipo de servicios.

El caudal medido en las nacientes, en época de estiaje (abril) es de 0,438 l/s, mientras que la mayor producción se da en octubre con 1,474 l/s, estos resultados no satisfacen las necesidades hídricas de la población, por lo que es necesario buscar abastecimiento de una fuente de agua externa.

El sistema hidráulico trabajará mediante la fuerza de acción gravitacional, ya que lo permite la topografía del terreno.

IV. REFERENCIAS

- [1] R. A. López Cualla, *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados.*, Primera ed. Bogotá, 1995.
- [2] Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados., *Norma Técnica para el Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial.* San José, Costa Rica., 2017.

Hacia un ambiente térmico óptimo: estrategias para el diseño de aulas en climas tropicales

Towards an optimal thermal environment: strategies for the design of classrooms in tropical climates

Jose Ali Porras Salazar

DocentE, Escuela de Arquitectura, UCR

correo electrónico: jose.porrassalazar@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Arquitectura bioclimática, confort térmico, diseño pasivo, escuelas, estrategias pasivas.

Palabras clave:

Bioclimatic architecture, thermal comfort, passive design, schools, passive strategies.

I. INTRODUCCIÓN

Los climas cálidos y húmedos se ubican aproximadamente 15° norte y 15° sur del Ecuador y se caracterizan por una combinación de altas temperaturas, alta humedad y abundantes lluvias. La mayoría de los países ubicados en esta región tienen economías de bajos ingresos que no les permiten proporcionar a las escuelas públicas sistemas de enfriamiento mecánico, por lo que estudiantes y docentes dependen de técnicas de enfriamiento pasivo o de bajo consumo de energía para lograr condiciones térmicas internas óptimas para el aprendizaje. Este estudio tiene como objetivo identificar en la literatura académica estrategias de enfriamiento pasivo, que de manera individual o conjunta, pudieran mejorar las condiciones térmicas interiores de las aulas escolares en los climas cálido-húmedos, así como determinar cuáles de ellas se utilizan actualmente en las aulas públicas de Costa Rica.

II. METODOLOGÍA

La primera parte del estudio consistió en una revisión de literatura de las principales bases de datos electrónicas en búsqueda de artículos especializados que informaran sobre las estrategias de enfriamiento más efectivas para edificios no residenciales de pequeña escala en climas tropicales. Una vez seleccionados los documentos, se identificaron las estrategias y clasificaron en (i) aquellas que reducen las ganancias de calor externo, (ii) las que modulan las ganancias de calor y (iii) las que remueven el calor interno. En la segunda fase, se seleccionó un edificio escolar con una tipología arquitectónica y constructiva ampliamente utilizada en el sector público, el cual se evaluó cualitativamente utilizando el enfoque de descripción e imagen [1], para identificar cuáles de las estrategias encontradas ya han sido aplicadas y cuáles se podrían emplear en los futuros diseños.

III. RESULTADOS

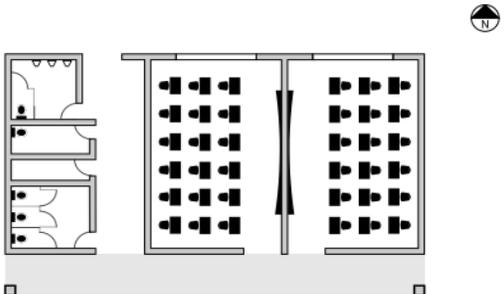
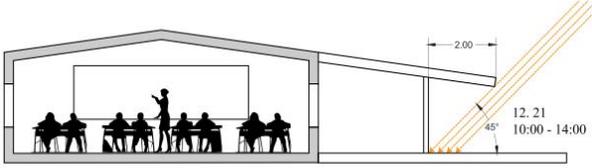
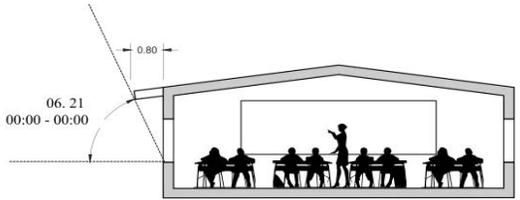
De las publicaciones que arrojó la búsqueda, se seleccionaron cinco documentos los cuales describen y clasifican los métodos de enfriamiento pasivo más conocidos y eficientes a nivel general y en específico para los climas cálido-húmedos. Las estrategias identificadas en cada una de las publicaciones seleccionadas se presentan y clasifican en el Cuadro I.

CUADRO 1.
MÉTODOS / TÉCNICAS DE ENFRIAMIENTO PASIVO IDENTIFICADOS
EN LAS PUBLICACIONES SELECCIONADAS

Técnicas		Estudios (ordenados por año de publicación)				
		[2]	[3]	[1]	[4]	[5]
Reducir las ganancias de calor						
	Controles microclimáticos	✓	✓	-	✓	-
	Control solar	✓	✓	✓	✓	-
Modular las ganancias de calor						
Masa térmica	Con almacenamiento de energía térmica	-	-	-	✓	-
	Sin almacenamiento de energía térmica	-	-	✓	✓	-
	Ventilación nocturna	✓	✓	-	✓	✓
Remover el calor interno						
Ventilación natural	Ventilación cruzada	✓	✓	✓	✓	-
	Ventilación por efecto chimenea	✓	✓	✓	✓	-
	Ventilación de un solo lado	✓	-	✓	✓	-
Enfriamiento natural	Enfriamiento evaporativo (directo)	✓	-	✓	✓	✓
	Enfriamiento por medio del suelo	✓	✓	✓	✓	✓
	Enfriamiento radiante	✓	-	-	✓	-

Para la segunda etapa, se eligió como caso de estudio una escuela ubicada en un asentamiento rural en la región noroeste de Costa Rica, en las cercanías de la ciudad de Cañas. En el inmueble se identificaron 16 soluciones arquitectónicas que buscan adaptar el edificio a las condiciones térmicas del entorno, abarcando las principales estrategias climáticas para regiones cálidas-húmedas recomendadas por la literatura [1], [6], [7], lo que indica cierta adaptación del edificio a las condiciones térmicas del lugar. El Cuadro 2 muestra las soluciones arquitectónicas encontradas clasificadas según la lista de pautas de diseño para los trópicos elaborada por [1]

CUADRO II
SOLUCIONES ARQUITECTÓNICAS PARA LA ADAPTACIÓN DEL EDIFICIO
ESCOLAR SELECCIONADO CON LAS CONDICIONES TÉRMICAS DEL ENTORNO.

Guías de diseño / Técnica	Soluciones arquitectónicas
<p>Orientación y forma del edificio / Control solar</p>	<p>Forma de edificio alargada con orientación unilateral donde todos los espacios de aprendizaje están orientados al norte para evitar la radiación solar directa en las fachadas principales</p> <p>Pasillos y aleros profundos protegen la fachada sur de la luz solar directa</p> <p>Configuración de las habitaciones: baños orientados al oeste y pasillos orientados al sur para proteger las aulas de la radiación directa</p> 
<p>Sombreamiento / Control solar</p>	<p>La altura del aula (30 cm más alta en las regiones más cálidas de Costa Rica) aumenta el volumen de aire interior y separa el techo, normalmente a mayor temperatura, de los ocupantes</p> <p>Cielo inclinado aumenta el volumen de aire interior y separa el techo de los usuarios</p> <p>La fachada sur está sombreada todo el tiempo por el techo del corredor que tiene 3,6 metros de ancho.</p> <p>La altura del techo del ala sur se minimiza, lo que produce una solución eficaz de protección solar.</p>  

	<p>La forma del edificio con orientación unilateral, las habitaciones en una fila y los espacios de aprendizaje estrechos mejoran la ventilación cruzada</p>	
<p>Ventilación cruzada y ventilación nocturna / Ventilación natural</p>	<p>El espacio interior abierto sin particiones permite que el aire se mueva con mayor facilidad y no pierda velocidad</p> <p>Grandes aberturas en las paredes opuestas mejoran la ventilación natural. El 36% de la fachada norte y el 25% de la fachada sur está hecha de celosías de vidrio que pueden ser manipuladas por los ocupantes</p> <p>Las aberturas ubicadas al nivel del cuerpo mejoran el aparente efecto de enfriamiento del movimiento del aire.</p>	
<p>Construcción liviana / Masa térmica</p>	<p>Construcción liviana con materiales de baja capacidad térmica</p>	
<p>Refrigeración pasiva mediante el uso de color / Control solar</p>	<p>Minimización de la absorción de calor pintando el techo de blanco y las paredes en colores claros los cuales son altamente reflectantes</p>	
<p>Aislamiento térmico por material / Control solar</p>	<p>Techo aislado utilizando polietileno expandido cubierto con un material altamente reflectante</p>	

De las técnicas de enfriamiento presentadas en el Cuadro 1 las más utilizadas han sido el control solar, la ventilación (v.g., cruzada y nocturna) y la ausencia de masa térmica. Por su parte, el enfriamiento evaporativo, radiante y por medio del subsuelo no se han utilizado del todo. El primero, posiblemente porque existen posiciones encontradas acerca de su efectividad en el clima cálido-húmedo debido a los altos niveles de humedad que registra el aire y las otras dos, posiblemente por las dificultades técnicas y económicas que conlleva su implementación, a pesar del alto potencial de enfriamiento que poseen [8]. Una técnica cuyo potencial no se ha desarrollado completamente es el control microclimático, el cual busca modificar el microclima

mediante técnicas adecuadas de paisajismo. Por ejemplo, estudios en campo y mediante simulación por computadora muestran que las áreas verdes y sombreadas son en promedio 3 °C más frías en las horas pico de temperatura que sus alrededores pavimentados y que hay una reducción en la temperatura del aire cuando aumenta el porcentaje de árboles o áreas verdes.

No obstante las técnicas pasivas tienen un límite, en edificios naturalmente ventilados difícilmente la temperatura del aire interior de las aulas logre estar por debajo de la temperatura del aire exterior, por lo que dependiendo del clima del sitio, aun con todas las soluciones arquitectónicas presentadas en el Cuadro 2, no es posible conseguir unas condiciones térmicas adecuadas para el aprendizaje [9]. Es por ello que para las regiones más calientes del país, será necesario una combinación de técnicas pasivas con estrategias de bajo consumo de energía como el uso de ventiladores, los cuales aumentan la velocidad del aire produciendo una sensación de enfriamiento en los usuarios. Por ejemplo, estudios en laboratorio han demostrado que es posible conseguir el confort térmico aumentando la velocidad del aire incluso a una temperatura ambiente de 30 °C y una humedad relativa del 60% [10].

Finalmente, a pesar de los beneficios teóricos de las técnicas recopiladas, es necesario realizar análisis que estimen su potencial de enfriamiento (v.g., mediante simulación) y estudios de campo con cuestionarios donde se recoja la percepción de los usuarios para determinar su verdadera efectividad. De igual forma será necesario desarrollar análisis de costo-beneficio antes de proceder con su implementación.

IV. REFERENCIAS

- [1] A. T. Nguyen, Q. B. Tran, D. Q. Tran, and S. Reiter, "An investigation on climate responsive design strategies of vernacular housing in Vietnam," *Build. Environ.*, vol. 46, no. 10, pp. 2088–2106, 2011.
- [2] M. Santamouris, Ed., *Advances in passive cooling*. London: Earthscan, 2007.
- [3] M. Santamouris, K. Pavlou, A. Synnefa, K. Niachou, and D. Kolokotsa, "Recent progress on passive cooling techniques: Advanced technological developments to improve survivability levels in low-income households," *Energy Build.*, vol. 39, pp. 859–866, 2007.
- [4] N. Geetha and R. Velraj, "Passive cooling methods for energy efficient buildings with and without thermal energy storage— A review," *Energy Educ. Sci. Technol. Part A Energy Sci. Res.*, vol. 29, no. 2, pp. 913–946, 2012.
- [5] M. Santamouris and D. Kolokotsa, "Passive cooling dissipation techniques for buildings and other structures: The state of the art," *Energy Build.*, vol. 57, pp. 74–94, 2013.
- [6] S. V. Szokolay, *Introduction to Architectural Science. The Basis of Sustainable Design*. Burlington, MA: Architectural Press, 2004.
- [7] S. V. Szokolay, "Thermal comfort in the warm humid tropics," in *Proceedings of the 31st International ANZAScA Conference*, 1997, pp. 7–12.
- [8] J. A. Porras-Salazar, J. A. Pulido-Arcas, M. B. Piderit-Moreno, and A. Perez-Fargallo, "Estudio de la eficiencia de un sistema de tubos enterrados con intercambiadores tierra-aire para la reducción de la carga de refrigeración en edificios escolares situados en climas tropicales: caso de estudio en Costa Rica," in *Proceedings of the XXVII Conferencia Latinoamericana de Escuelas y Facultades de Arquitectura (CLEFA)*, 2018.

- [9] J. A. Porras-Salazar, D. P. Wyon, B. Piderit-Moreno, S. Contreras-Espinoza, and P. Wargocki, "Reducing classroom temperature in a tropical climate improved the thermal comfort and the performance of elementary school pupils," *Indoor Air*, no. March, pp. 1–13, 2018.
- [10] Y. Zhai, H. Zhang, Y. Zhang, W. Pasut, E. Arens, and Q. Meng, "Comfort under personally controlled air movement in warm and humid environments," *Build. Environ.*, vol. 65, pp. 109–117, 2013.

Metodología para analizar la degradación de madera estructural en atmósferas volcánica en Costa Rica

Methodology to analyze the degradation of structural Timber in acid atmospheres

Viviana Paniagua-Hernández

Investigadora Escuela de Arquitectura, UCR

correo electrónico: viviana.paniaguahernandez@ucr.ac.cr

Cindy Torres Quirós Investigadora

Escuela de Ingeniería Química, UCR

Palabras clave:

Ambiente VOLCÁNICO, SO₂, *Cupressus lusitanica* -*Tectona grandis*, Técnica ultrasónica.

Keywords:

VOLCANIC environment, SO₂, *Cupressus lusitanica* -*Tectona grandis*, Ultrasonic technique.

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta investigación fue proponer una metodología para el estudio de la influencia de los agentes ácidos en el comportamiento mecánico de especímenes de madera comercial de *Tectona grandis* (Teca) y *Cupressus lusitanica* (Ciprés). Se observó experimentalmente una reducción entre el 5-7% en E_{dyn} y 8-11% en E_{app} , con una tendencia de 3% más disminución en Ciprés que en Teca. Más cerca del volcán la concentración SO₂ (gas) fue apreciable y los valores de pH de la lluvia ácida fueron de $3,92 \pm 0,33$ en promedio. La meteorización provocó severos cambios de color ($\Delta E^* > 17$) esto puede ser considerado para fines de diseño arquitectónico. Se comprobó que la metodología propuesta para monitorear la degradación de la madera en ambientes ácidos resultó adecuada.

Se ha reportado que la intensidad de la corrosión química de la madera depende del contaminante, concentración, humedad, temperatura, tiempo de exposición y permeabilidad de la especie [1][2] [3]. De los factores degradantes la radiación es el más dañino ya que provoca oxidación, despolimerización (lignina y la celulosa), pérdida del material y la decoloración superficial [4]–[6]. Esta degradación puede variar según la especie, conífera [7], [8] o latifoliada [9], [10], por lo que la presente investigación consideró una especie conífera (Ciprés) y una latifoliada (Teca).

Se ha reportado que la madera muestra una baja degradación en ambientes corrosivos en comparación con los metales [11], sin embargo, no se ha reportado el comportamiento del material en zonas volcánicas de [8] [11], [12][11], [12]. Por tanto, en la presente investigación se estudió el efecto de contaminantes atmosféricos, como el dióxido de azufre SO₂.

II. METODOLOGÍA

Se ensayaron piezas de Teca y Ciprés, con admisibilidad de defectos (INTE C100: 2011) [13] considerando el porcentaje de albura y duramen. Se colocaron en tres sitios de diferente acidez: a) Alta exposición (HEA); b) Exposición intermedia (IEA) c) Control (CA) testigo. Dichas piezas de madera se separaron del suelo [9] en posiciones de 0° y 90°, orientadas al sur. Sus dimensiones son 2x4x68” con relación altura ancho (d / b) >3 longitud L/18. La concentración de SO₂ y H₂S se midió con un monitor portátil Multirae Lite Honeywell. El análisis de pH de lluvia y niebla, así como los aniones cloruro, fluoruro, nitrato y sulfato de dichas muestras se analizaron mediante cromatografía de iones. Las muestras se aclimataron (HR 50 ± 5% y 163 ± 35 F ° (23C ± 5%), se verificó el CH 12 ± 1% antes de las pruebas. Se calculó el E_{dyn} ecuación (1) y E_{app} ecuación (2) siguiendo la norma ASTM-D198 [14]. También se evaluó el cambio de color de las superficies (cada 30 días utilizando Canon EOS88D Rebel Ti7, y un Travor Photo Studio Light Box 35 “/ 90cm), según la ecuación (3).

$$E_{dyn} = \rho * v^2 \quad (1)$$

donde ρ es la densidad de la madera (kg / m³) y v es la velocidad de la onda (m s⁻¹) La velocidad de la onda ultrasónica (v_{us}).

$$E_{dyn} = \rho * v^2 \quad (2)$$

donde P aumenta en la carga de prueba por debajo del límite de proporcionalidad y Δ es el aumento en la deflexión asociada con P .

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3)$$

Donde ΔE es el cambio de color de la madera debido a la intemperie, ΔL^* es la diferencia entre los valores de L^* inicial y después de la exposición, Δa^* es la diferencia entre los valores de a^* inicial y después de cada exposición, y Δb^* es la diferencia entre los valores de b^* inicial y después de cada exposición [15].

III. RESULTADOS

Caracterización del sitio

La Figura 1 muestra los perfiles de gas de SO₂ y H₂S, así también muestra el pH de la lluvia ácida, el cual fue en promedio 3.92 ± 0.33 y la niebla ácida 3.84 ± 0.21, para el sitio más ácido (HAC).

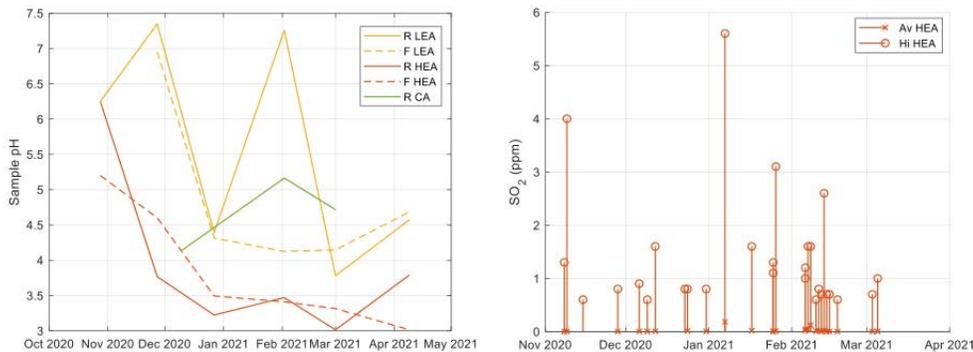


Fig. 1. Izquierda Perfil de pH (0-14). I.HEA y II. A la derecha perfil de emisión de gas SO₂ (ppm) en HAC.

Evaluación de las propiedades mecánicas

Para ambas especies, Ciprés y Teca, se observó una disminución apreciable en los valores de Eapp y Edyn a los 90 días y a los 180 días. Ciprés Edyn disminuyó en promedio $2,2 \pm 0,68$ GPa y $2,1 \pm 0,31$ GPa para la teca. Se encontró una tasa de disminución estimada del 5-7% en Edyn y 8-11% en Eapp, y una tendencia de 3% más de disminución en Ciprés que en Teca (Figura 2).

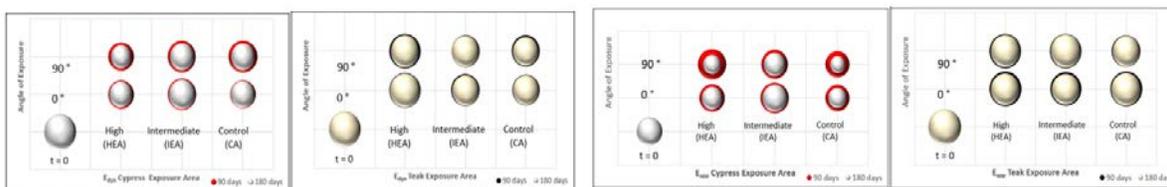


Fig. 2. a. Disminución de Edyn (izquierda) y Eapp (derecha) en Ciprés y teca durante 180 días de exposición en 3 sitios.

Cambios de color

Ambas especies mostraron un ΔE más significativo en posición horizontal que en posición vertical, esto considerando que la irradiación promedio fue de 312.4976 W/m² en HEA. La percepción del ΔE [16] en Ciprés horizontal fue nivel 5 “completamente perceptible” en el mes 2 y en vertical en el mes 4; para la Teca en ambas posiciones en el mes 2 (mes más lluvioso), dichos resultados se observan en la Figura 3.

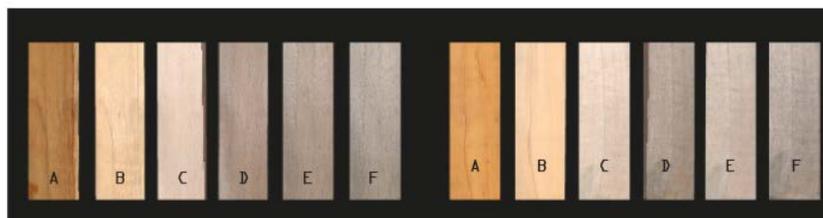


Fig. 3. Apariencia de cambio de color durante los primeros 6 meses de exposición.

IV. CONCLUSIONES

Se estableció con éxito una metodología para analizar la degradación de la madera en atmósferas ácidas. Se obtuvo una disminución de 5-7% aproximadamente en el Edyn y 8-11% en el Eapp. Ambos módulos disminuyeron significativamente en HEA en comparación con IEA y CA El Eapp disminuyó 2.43% más que Edyn en posición horizontal que en posición vertical, y 2.71% más en Ciprés que en Teca. Se registró una modificación significativa de los cambios de color en promedio $\Delta E^* > 17$. Con esto se anticipa la influencia del ambiente volcánico en la madera.

V. REFERENCIAS

- [1] K. K. Pandey, S. S. Chauhan, and P. K. Aggarwal, "Reaction of wood with inorganic salts," *Holz als Roh- und Werkst.*, vol. 56, no. 6, pp. 412–415, 1998.
- [2] J. J. Morrell, "Chapter 17 Protection of wood-based materials," in *Handbook of Environmental Degradation of Materials*, William Andrew Publishing, 2018, pp. 343–368.
- [3] W. Feist, "Outdoor Wood Weathering and Protection Chapter 11.," in *Rowell RM, Barbour JR (eds) Archaeological wood—properties, chemistry, and preservation*, A. C. S. Adv Chem Ser 225, Ed. Washington, DC, USA, 1990, pp. 263–298.
- [4] M. Fredriksson, "A critical literature review of moisture and temperature conditions in wood exposed outdoors above ground," 2010.
- [5] C. Brischke, L. Meyer, & S. O.-I. B., and undefined 2014, "Durability of wood exposed in ground—Comparative field trials with different soil substrates," *Elsevier*.
- [6] G. C. Foliente, "Design of timber structures subjected to extreme loads," *Progress Struct. Eng. Mater.*, vol. 1(3), ., pp. 236–244, 1998.
- [7] L. Reinprecht, *Wood Deterioration, Protection and Maintenance*. 2016.
- [8] F. F. P. Kollmann, W. A. Côté, and W. A. Côté, "Chemical Composition of Wood," in *Principles of Wood Science and Technology*, Springer Berlin Heidelberg, 1968, pp. 55–78.
- [9] K. Pandey, "Study of the effect of photo-irradiation on the surface chemistry of wood," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 90(1), pp. 9–20, 2005.
- [10] K. K. Pandey, "A Study of Chemical Structure of Soft and Hardwood and Wood Polymers by FTIR Spectroscopy," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 71, no. 12, pp. 1969–1975, Mar. 1999, doi: 10.1002/(sici)1097-4628(19990321)71:12<1969::aid-app6>3.0.co;2-d.
- [11] G. Wegener and D. Fengel, "Untersuchungen zur Beständigkeit von Holzbauteilen in aggressiven Atmosphären Investigations for estimating the resistance of structural timber against aggressive atmospheres," *Holz als Roh- und Werkst.*, vol. 44, no. 6, pp. 201–206, Jun. 1986.
- [12] M. Borrillo Jiménez, "Durabilidad de los herrajes metálicos en la construcción en madera: Interacción madera-metal," Universidad de Sevilla, 2004.
- [13] INTE-C100:2011, "Madera estructural. Clasificación en grados estructurales para la madera aserrada mediante una evaluación visual.," 2011.
- [14] ASTM-D198, "ASTM-D198 Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes." ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, 2015.
- [15] B. Hill, T. Roger, and F. W. Vorragen, "Comparative Analysis of the Quantization of Color Spaces

- on the Basis of the CIELAB Color-Difference Formula,” *ACM Trans. Graph.*, vol. 16, no. 2, pp. 109–154, 1997.
- [16] T. (2004). Cui, W., Kamdem, D. P., & Rypstra, “Diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy (DRIFT) and color changes of artificial weathered wood.,” *Wood Fiber Sci.*, vol. 36(3), pp. 291-301., 2004.

Tema IV
Aplicaciones de modelos
y prototipos

Ensamblajes: Proyectos ganadores, tendencias y paisajes tropicales en la Bienal Internacional de Arquitectura 1996-2018

Assemblages: winning projects, trends and tropical landscapes at the International Architecture Biennale 1996-2018

Julio Matamoros Alberty
Estudiante Escuela de Arquitectura, UCR

Palabras clave:

Arquitectura tropical, Bienal de Arquitectura, discursos arquitectónicos, tendencia, proyecto arquitectónico.

Keywords:

Arquitectura tropical, Bienal de Arquitectura, discursos arquitectónicos, tendencia, proyecto arquitectónico.

I. INTRODUCCIÓN

ELa presente investigación está inscrita en el proyecto investigación B7A11 denominado: ¿Arquitectura Tropical en Costa Rica? Un estudio acerca del uso del término como sistema de clasificación en la arquitectura costarricense desde una perspectiva histórica, 1998-2012, a cargo de Natalia Solano-Meza, docente e investigadora de la Escuela de Arquitectura (EA) de la Universidad de Costa Rica (UCR).

Este trabajo examina las imágenes de los proyectos ganadores de la Bienal de Arquitectura de Costa Rica (BIACR) con el fin de identificar y descubrir discursos acerca del ejercicio profesional en Costa Rica. En cuanto a los discursos presentes en el evento, estos se plantean como validados a través de las obras y personajes premiados.

Se presume que existe un discurso asociado con la relación de la arquitectura con su entorno, y el mismo es visible y puede encontrarse de manera subyacente, y a veces explícita, en los proyectos premiados de la BIACR. El estudio preliminar permite sugerir que este discurso introduce ideas— las cuales dictaminan las formas de relacionarse de los objetos arquitectónicos y sus respuestas formales con el entorno— que estarían inmersas en lo que en este trabajo se denomina el Discurso de la arquitectura tropical, definido este como aquel que entiende adaptar principios de diseño supuestamente universales al entorno tropical. El análisis de este discurso se realiza desde diferentes lentes teóricos como: el colonialismo, el poder disciplinar y la tropicalización.

Se formula que la premiación de la BIACR opera como mecanismo de validación de un canon discursivo que es difundido, publicado y comunicado a nivel profesional. Es la hipótesis de este trabajo que, en su gran mayoría, los proyectos ganadores de la BIACR se encuentran inmersos

dentro del discurso de la arquitectura tropical, y que es desde ahí que se establecen las reglas que regulan las prácticas de proyección de la profesión.

Por lo tanto, se propone la realización de un ejercicio prospectivo, el cual a través de la hipérbole—la exageración de ciertas condiciones y características del lenguaje arquitectónico y las escenas del paisaje tropical—se genere una serie de pautas que son la clave para obtener el Premio Gran Biental. Esto permite exponer de manera contundente el papel que juega el discurso de lo tropical en la manera en que se establece y también se juzga la relación del objeto construido y el entorno en el caso costarricense.

II. METODOLOGÍA

A partir del método de análisis iconográfico e iconológico se buscó entender aspectos más allá de la composición de las imágenes, por medio de un principio unificador que logre una interpretación completa. En otras palabras, se investigó el significado intrínseco de las imágenes para entender nociones históricas, políticas y culturales. La primera parte del método de estudio mencionado está dividido en tres secciones: descripción pre-iconográfica, análisis iconográfico y análisis iconológico.

La descripción pre-iconográfica, inicio del análisis, consiste en esclarecer las razones primarias para la realización del ejercicio, explicadas anteriormente. Interesa el significado de la pieza en estudio y se busca cuestionar el contenido de las representaciones visuales. Por su parte, en el análisis iconográfico se identificaron y se describieron las imágenes de los tableros, se incluyen explicaciones, reseñas, artículos, historias y alegorías alrededor de las mismas. Además, se utilizaron referencias históricas que sirvieron como instrumentos para contextualizar las escenas. Finalmente, se expandió el campo de la iconografía a la interpretación cultural de las imágenes. En cuanto a el análisis Iconológico, este se enfocó en la naturaleza interpretativa, donde se elaboraron explicaciones en torno al significado intrínseco de las imágenes, basado en el contenido analizado.

Las imágenes seleccionadas para el análisis provienen de las memorias de la BICAR, las páginas oficiales de los arquitectos galardonados, la Revista del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (RCFIA), la Revista Habitar (RH) y la cortesía de algunos de los arquitectos galardonados. En este trabajo la construcción de las imágenes es interpretada como la representación tangible del discurso ante la sociedad, ya que cada vez más las ilustraciones toman un papel determinante en los concursos de arquitectura, al respecto Pier Vittorio Aureli comenta, “Una estética relacional dentro de la arquitectura significa que la arquitectura ya no se trata de dibujar, diseñar o construir, sino de editar, seleccionar, presentar, actuar e interactuar”. [1]

En cuanto a la segunda parte de la metodología planteada, se buscó intervenir las imágenes recopiladas con el fin de señalar aspectos estructurales del discurso tropical (ver Figura 1). Se trabajó con la técnica de saturación y sobresaturación para explicitar visualmente el papel del paisaje y la naturaleza en comparación con los objetos arquitectónicos. Este estudio contempló como parte del análisis tanto el objeto arquitectónico como las escenas y la combinación de ambos. Este proceso

también se utilizó para denotar elementos clave en los diseños, los cuales se asocian directamente con la arquitectura tropical.



Fig. 1 Tablero 5³.

III. RESULTADOS

Es claro que la presencia de la arquitectura tropical en la BIACR ha sido una constante desde 1992, en un intento del CACR por establecer una discusión acerca de una arquitectura de lo propio. Se observa un esfuerzo institucional por referirse al tema de la identidad y el contexto como ideas que legitiman una forma particular de hacer y presentar la arquitectura. Este trabajo muestra a través del análisis de imágenes cómo se ha establecido un lenguaje arquitectónico premiado en la BIACR asociado con la arquitectura tropical (ver Figuras 2 y 3).

Por consiguiente, es preciso señalar que la premiación en la BIACR se inclina hacia lo que se ha definido como un lenguaje de lo tropical, visible y reconocible en las obras estudiadas. Es decir, existen aspectos funcionales y formales en la arquitectura premiada en la BIACR que hacen posible diferenciarla de otras arquitecturas, identificables a partir de un conjunto de elementos arquitectónicos asociados con la protección climática, los cuales se configuran formalmente las obras estudiadas. La comparación y experimentación a través de imágenes muestra un lenguaje

³ Tablero 5, Ensamblaje de la Arquitectura Tropical en la BIACR. Matamoros-Alberty, Julio. (2021).

distintivo de lo tropical, evidente en muchas de las decisiones justificadas a partir de las condiciones del clima local.

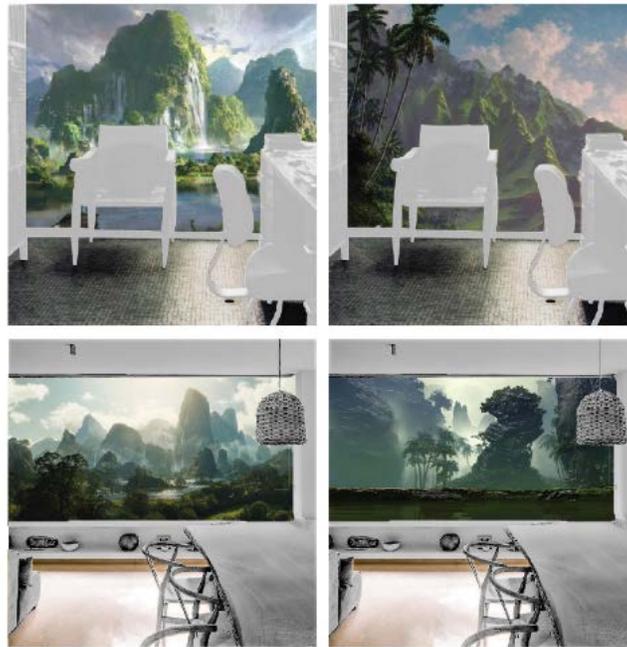


Fig. 2. Espacios internos⁴.



Fig. 3. Cueva de Luz Sifais- Escenario⁵.

IV. REFERENCIAS

- [1] P. V. Aureli, “Manet: Images for a World Without People by Pier Vittorio Aureli,” *Scapegoat Archit. Landscape, Polit. Econ.*, vol. Realism, no. 03, 2011.
- [2] N. L. Stepan, *Picturing Tropical Nature*. Farrington Road, London: Reaktion Books Ltd, 2001.

4 Espacios internos. Matamoros-Alberty, Julio. (2021).

5 Cueva de Luz SIFAIS escenario. Matamoros-Alberty, Julio. (2021).

Control de la orientación de un multirrotor

Orientation Control of a Quadcopter

Erick Arturo Cortés Gutiérrez

*Estudiante, Escuela de Ingeniería Eléctrica; Asistente, Instituto de Investigaciones en Ingeniería, UCR
correo electrónico: erick.cortes@ucr.ac.cr*

Daniel Campos Salas

Estudiante, Escuela de Ingeniería Eléctrica; Asistente, Instituto de Investigaciones en Ingeniería, UCR

Orlando Arrieta Orozco

Investigador, Instituto de Investigaciones en Ingeniería, UCR

Palabras clave:

Controlador, multirrotor, PID, optimización.

Keywords:

Controller, Unmanned Air Vehicle (UAV), PID, optimization.

I. INTRODUCCIÓN

El Grupo Temático de Ingeniería de Control del Comité Español de Automática (CEA), promueve cada año un concurso de diseño de sistemas de control. Para el 2021, se ha buscado controlar la orientación de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) para que alcance el posicionamiento deseado. Con base en esto, se planteó una propuesta que pretende sintonizar un controlador proporcional-integral-derivativo (PID) basándose en un controlador diseñado por el método IMC y utilizándolo como valor inicial para, mediante de una rutina de optimización en MATLAB, obtener un nuevo controlador de tal manera que minimice los índices de desempeño IAE, ITAE e IAVU.

Aprovechando la popularidad de los vehículos aéreos no tripulados de tipo multirrotor, esta propuesta pretende ser motivadora para el aprendizaje del control automático, aproximándose a la vez a un planteamiento real. Se emula el control de la orientación de un multirrotor, que viene descrita por los ángulos de Euler: roll (ϕ), pitch (θ) y yaw (ψ). Para esta aplicación particular se mantuvo ψ constante y se consideró únicamente el control de ϕ y θ , cada uno con un controlador PID de dos grados de libertad (2GdL).

II. METODOLOGÍA

A partir del método de análisis iconográfico e iconológico se buscó entender aspectos más allá de la composición de las imágenes, por medio de un principio unificador que logre una interpretación

completa. En otras palabras, se investigó el significado intrínseco de las imágenes para entender nociones históricas, políticas y culturales. La primera parte del método de estudio mencionado está dividido en tres secciones: descripción pre-iconográfica, análisis iconográfico y análisis iconológico.

El controlador PID de 2GdL propuesto está descrito por la siguiente ecuación:

$$u(s) = \left(\beta K_p + \frac{K_i}{s} \right) r(s) - \left(K_p + \frac{K_i}{s} + \frac{K_d s}{0.1K_d s + 1} \right) y(s) \quad (1)$$

donde $r(t)$ representa el valor deseado de la señal, $y(t)$ la señal controlada y $u(t)$ la señal del controlador.

Los parámetros de interés utilizados para evaluar el desempeño de los controladores obtenidos son el índice IAE, el índice ITAE, y el índice IAVU, definidos a continuación:

$$\begin{aligned} IAE &= \int_0^{t_f} |r(t) - y(t)| dt \\ TAE &= \int_0^{t_f} t |r(t) - y(t)| dt \\ IAVU &= \int_0^{t_f} \left| \frac{du(t)}{dt} \right| dt \end{aligned} \quad (2)$$

Se identificó un modelo para el proceso con base en la respuesta al escalón para tres condiciones: la respuesta de ϕ ante un escalón de $15 \mu s$ a lazo abierto, la respuesta de ϕ ante un escalón de $26 \mu s$ a lazo abierto, y la respuesta de θ ante un escalón de $15 \mu s$ a lazo abierto. Esto se debe a que el ángulo ϕ presentaba una respuesta muy diferente entre cambios pequeños y cambios grandes de rotación, por lo que se buscó sintonizar un controlador que actúe en función de la magnitud del cambio en la referencia correspondiente. Para cada caso se calcularon modelos de segundo orden subamortiguados con parámetros tales que tuvieran la misma ganancia que el sistema, y reflejaran adecuadamente la dinámica del pico de la respuesta, que se considera la característica más importante de reflejar en el modelo debido a que es la más rápida y de mayor magnitud [1]. Se obtuvo un controlador inicial utilizando el método de control por modelo interno (IMC) [2]. Posteriormente se buscaron los parámetros de un controlador óptimo por medio de la función de MATLAB `fminsearch` tomando como valores iniciales los parámetros obtenidos por medio del método IMC. La función a optimizar se describe por medio de los índices de desempeño con factores de peso, tales que:

$$J_o = \frac{2}{5} IAE + \frac{2}{5} ITAE + \frac{1}{5} IAVU \quad (3)$$

III. RESULTADOS

El resultado de la optimización consiste en los parámetros que se muestran en el Cuadro 1.

CUADRO I
PARÁMETROS DE LOS CONTROLADORES ÓPTIMOS

	$C_{\varphi P}$	$C_{\varphi G}$	C_{θ}
K_p	0.129	0.1085	0.803
K_i	0.0037	0.3436	0.4032
K_d	0.0243	0.0196	0.1591
β	1.5194	0.9853	0.9841

Utilizando los controladores anteriormente mencionados se obtuvieron las respuestas que se observan en las Figuras 1 y 2.

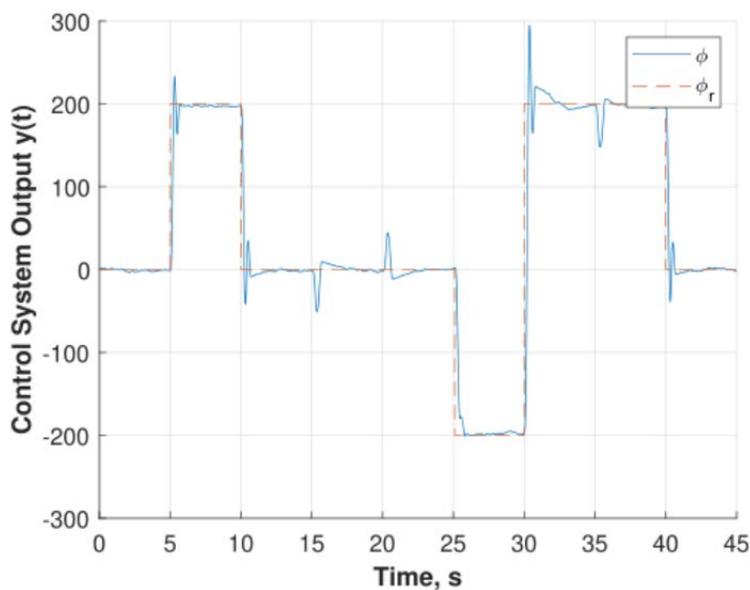
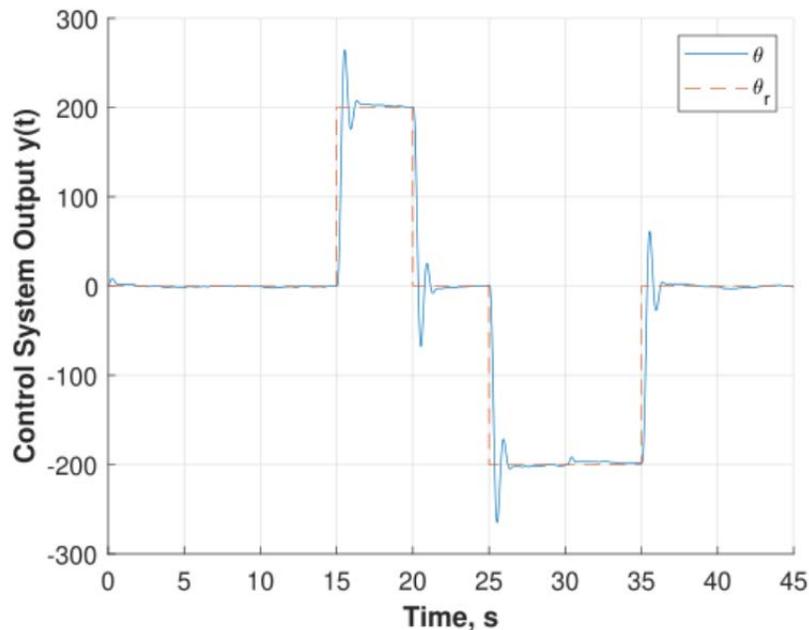


Fig. 1. Respuesta de ϕ utilizando el controlador óptimo.

Fig. 2. Respuesta de θ utilizando el controlador óptimo.

Los índices de desempeño obtenidos se muestran en el Cuadro 2.

CUADRO 2
ÍNDICES DE DESEMPEÑO OBTENIDOS

	IAE	ITAE	IAVU	J_o
Roll	1.0629	0.78108	0.17399	0.77239
Pitch	0.89384	0.52547	0.41005	0.64974

Se observa que el controlador obtenido al minimizar la Ecuación 2 mediante la función `fminsearch` de MATLAB presenta un buen desempeño, tal y como se puede observar en las Figuras 1 y 2 y en el Cuadro 2. Presenta un rendimiento mucho mejor que controlador diseñado por un método simple de sintonización, como lo es el IMC. A pesar de esto, cabe destacar que la necesidad de función `fminsearch` de contar con valores iniciales para el controlador, permite mejorar el rendimiento de la optimización al utilizar el diseño IMC para este propósito.

IV. REFERENCIAS

- [1] J. D. Fernández y M. Espinoza, *Modelado y análisis de sistemas lineales*. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica, 2018, vol. 1.
- [2] V. Alfaro, *Sistemas de control proporcional, integral y derivativo: Algoritmos, análisis y ajuste*. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica, 2018, vol. 1.

Análisis de estabilidad y diseño de un sistema no lineal con controladores PI

Stability analysis and design of a nonlinear system with PI controllers

Raul Brenes Astorga

*Estudiante, Escuela de Ingeniería Eléctrica, UCR
correo electrónico: jose.brenesastorga@ucr.ac.cr*

Mercedes Chacón Vásquez

*Profesora, Escuela de Ingeniería Eléctrica, UCR
correo electrónico: mercedes.chaconvasquez@ucr.ac.cr*

Palabras clave:

Control no lineal, control PI, estabilidad absoluta, optimización, reglas de sintonización.

Keywords:

Nonlinear control, PI control, absolute stability, optimization, tuning rules.

I. INTRODUCCIÓN

Conforme la tecnología avanza y la complejidad de los sistemas se hace cada vez más grande, se vuelve necesario utilizar herramientas analíticas más fuertes que permitan desarrollar maneras más eficientes de controlar un proceso, uno de estos avances corresponde al control de sistemas no lineales, los cuales utilizan una ganancia dinámica para poder llevar a cabo un control más efectivo, a diferencia de las ganancias fijas de algoritmos como el de tipo PID. Un sistema de este tipo es llamado sistema de Lur'e, esta forma de control no lineal se ha desarrollado en años recientes, dándole un enfoque orientado a maximizar su desempeño, obteniendo resultados bastante positivos, algunos ejemplos de esto son [1], [2] y [3].

Este trabajo presenta el análisis y deducción de las condiciones que garantizan la estabilidad de un lazo realimentado implementando un controlador de tipo PI no lineal a partir de los resultados propuestos por [4]. Luego se plantea un problema de optimización cuya función objetivo es el criterio de costo ITAE, que incluye como restricciones las condiciones de estabilidad y así obtener ecuaciones que permitan diseñar un sistema completo. De esta manera se presenta un diseño que no solo ofrece buen desempeño, sino que garantiza la estabilidad del lazo para sistemas de primer orden implementando dos no linealidades distintas. La efectividad del método se muestra a través de simulaciones.

II. ANALISIS Y DEDUCCION DE LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD

Definición 1. [5] Se dice que $\psi : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ es una función pendiente-restringida, denotado como $\psi \in S[0,k]$; si se satisface.

$$E_{\text{dyn}} = \rho * v^2 \quad (1)$$

Corolario 1. [4] Para una planta $G(s) = \frac{G_n}{s}$, donde G_n es una función de transferencia propia sin polos en la parte derecha y cerrada del plano complejo, y $G_n(0) > 0$; el lazo realimentado entre G y cualquier no linealidad $\psi \in S[0,k]$ es asintóticamente estable si el grafico de Nyquist de $G(j\omega)$ sigue el sentido de las manecillas del reloj para todo $\omega > 0$.

La función de lazo abierto $G(s)$ de un sistema de primer orden y un controlador PI corresponde a

$$G(s) = C(s)P(s) = \left(\frac{K_p s + K_i}{s} \right) \left(\frac{a_0}{bs + 1} \right) = \frac{a_0 \cdot (K_p s + K_i)}{s \cdot (bs + 1)} = \frac{1}{s} \cdot \frac{a_0 \cdot (K_p s + K_i)}{bs + 1} \quad (2)$$

Con K_p, K_i, a_0 y b constantes reales positivas.

Sea $G_n(s) = \frac{a_0 \cdot (K_p s + K_i)}{bs + 1}$ y note que para $s = 0$ se tiene que $G_n(0) = a_0 \cdot K_i > 0$.

Para garantizar que el diagrama de Nyquist de $G(s)$ siga el sentido de las manecillas del reloj se debe cumplir que la monotonía de la función de fase sea decreciente. Sin embargo, no es posible garantizar que su monotonía sea decreciente para todo ω ya que cambia en ciertos intervalos. Con base en lo anterior, es preciso introducir un polo al sistema para poder satisfacer dicha condición para la función de fase. Esto se puede hacer fácilmente introduciendo un filtro en el lazo de control. La función de lazo abierto $G(s)$ tomando en cuenta un filtro $F(s)$ de ganancia unitaria y constante de tiempo $\tau \cdot b$ con $0 < \tau < 1$, corresponde a

$$G(s) = C(s)F(s)P(s) = \left(\frac{K_p s + K_i}{s} \right) \left(\frac{1}{\tau bs + 1} \right) \left(\frac{a_0}{bs + 1} \right) = \frac{1}{s} \cdot \left[\frac{a_0 (K_p s + K_i)}{(\tau bs + 1)(bs + 1)} \right] \quad (3)$$

Sea, $G_n(s) = \frac{a_0 (K_p s + K_i)}{(\tau bs + 1)(bs + 1)}$ y note que para $s = 0$ se tiene que $G_n(0) = a_0 \cdot K_i > 0$.

$$G(j\omega) = \arctan \left(\frac{K_p}{K_i} \omega \right) - \arctan(\tau b \omega) - \arctan(b \omega) - \frac{\pi}{2}, \quad \angle G(0) = -\frac{\pi}{2} \quad \wedge \quad \angle G(+\infty) = -\pi \quad (4)$$

Para la nueva función de fase sí es posible garantizar una monotonía decreciente.

De los análisis realizados anteriormente, para garantizar la estabilidad del sistema por medio

del corolario 1, basta verificar que la no linealidad que se le aplique al lazo de control cumpla con la propiedad de pendiente restringida.

Teorema 1. Sea $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ una función diferenciable. f es pendiente-restringida si y solo si, es creciente y su derivada está acotada. En tal caso $f \in S[0, M]$, donde M es la cota de f' .

La demostración del teorema 1 se omite por cuestiones de extensión.

Proposición 1. La función $g : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ de criterio $g(x) = \frac{2}{1+e^{-ax}} - 1$ con $a > 0$, es una función pendiente-restringida con $g \in S\left[0, \frac{a}{2}\right]$

Proposición 2. La función $h : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ de criterio $h(x) = \frac{2}{\pi} \cdot \arctan(ax)$ con $a > 0$, es una función pendiente-restringida con $h \in S\left[0, \frac{2a}{\pi}\right]$

La demostración de las proposiciones 1 y 2 son una aplicación directa del teorema 1.

III. RESULTADOS

Reglas de sintonización

Utilizando las deducciones anteriores, se plantea un problema de optimización en el que la función objetivo es el criterio de costo (ITAE). La restricción que garantiza la estabilidad del sistema corresponde a $\min\{\Delta\}G(j\omega) > 0$. Al forzar que el mínimo de este nuevo vector sea positivo, indirectamente todos los demás valores serían positivos lo que en consecuencia garantiza la monotonía decreciente de la fase. El problema de optimización se revuelve para un rango de plantas en el intervalo $[0.1, 10]$. Seguidamente se realiza el ajuste de los resultados de la optimización y una vez obtenidas las ecuaciones de los parámetros en función de la constante de tiempo, se someten a pruebas para verificar los rangos de validez en los cuales se pueden utilizar.

Reglas de sintonización para un controlador PI en conexión con la función g

Los resultados de las pruebas indican un rango de validez de las siguientes ecuaciones para todo $b \in [0,425; 0,75] \cup [1,25;4,05] \cup [5; 6,725] \cup [8,35;10]$.

$$K_p(b) = \frac{71,24 \cdot b^5 + (2,874 \times 10^4) \cdot b^4 - (5,314 \times 10^5) \cdot b^3 + (2,606 \times 10^6) \cdot b^2 - (1,688 \times 10^6) \cdot b + (4,193 \times 10^5)}{b^4 + (1,144 \times 10^4) \cdot b^3 - (2,031 \times 10^5) \cdot b^2 + (9,358 \times 10^5) \cdot b - (3,033 \times 10^5)} \quad (5)$$

$$K_i(b) = \frac{7643 \cdot b^4 - (1,311 \times 10^5) \cdot b^3 + (6,003 \times 10^5) \cdot b^2 - (3,899 \times 10^5) \cdot b + 8,295 \times 10^5}{b^5 + (3075) \cdot b^4 - (5,555 \times 10^4) \cdot b^3 + (2,699 \times 10^5) \cdot b^2 - (1,937 \times 10^5) \cdot b + 1,787 \times 10^5} \quad (6)$$

$$a(b) = \frac{-14,66 \cdot b^5 + 273,4 \cdot b^4 - 1864 \cdot b^3 + 5656 \cdot b^2 - 7275 \cdot b + 3002}{b^4 - 24,17 \cdot b^3 + 165,9 \cdot b^2 - 353,4 \cdot b + 226,7} \quad (7)$$

Reglas de sintonización para un controlador PI en conexión con la función h

Los resultados de las pruebas indican un rango de validez de las siguientes ecuaciones para todo $b \in [0,1; 1,375] \cup [2,05;3,8] \cup [4,575; 9,325]$.

$$K_p(b) = \frac{7,883 \cdot b^5 - 183,4 \cdot b^4 + 1526 \cdot b^3 - 5151 \cdot b^2 + 6045 \cdot b - 357,9}{b^4 - 24,37 \cdot b^3 + 231,6 \cdot b^2 - 861,1 \cdot b + 1048} \quad (8)$$

$$K_i(b) = \frac{184,1 \cdot b^3 - 536,3 \cdot b^2 + 467,4 \cdot b - 115,4}{b^5 - 2,854 \cdot b^4 + 37,73 \cdot b^3 - 100,1 \cdot b^2 + 85,09 \cdot b - 20,91} \quad (9)$$

$$a(b) = \frac{-0,3508 \cdot b^5 + 10,62 \cdot b^4 - 111 \cdot b^3 + 431,1 \cdot b^2 - 285,2 \cdot b - 375,7}{b^3 - 21,02 \cdot b^2 + 124,3 \cdot b - 140} \quad (10)$$

Ejemplos numéricos

A continuación, se muestran ejemplos que evidencian la efectividad del método de diseño de parámetros propuesto para ambos controladores. En ambos ejemplos se establece un valor de referencia de 1 y se aplica una perturbación de magnitud 1.5 en $t = 15$ s.

El primer ejemplo corresponde a un proceso de ganancia unitaria, constante de tiempo $b = 6,2$ s y un controlador PI en conexión con la función g . Los parámetros óptimos proporcionados por las ecuaciones (5),(6) y (7) son $K_p = 15,7367$, $K_i = 2,3053$ y $a = 5,7680$. Las mediciones de ITAE para servocontrol y regulador corresponden a $J_r = 0,9396$ y $J_d = 3,266$ respectivamente.

El segundo ejemplo corresponde a un proceso de ganancia unitaria, constante de tiempo $b = 9,3$ s y un controlador

PI en conexión con la función h . Los parámetros óptimos proporcionados por las ecuaciones (8),(9) y (10) son $K_p = 15,0477$, $K_i = 1,4987$ y $a = 5,3831$. Las mediciones de ITAE para servocontrol y regulador corresponden a $J_r = 2,035$ y $J_d = 3,613$ respectivamente.

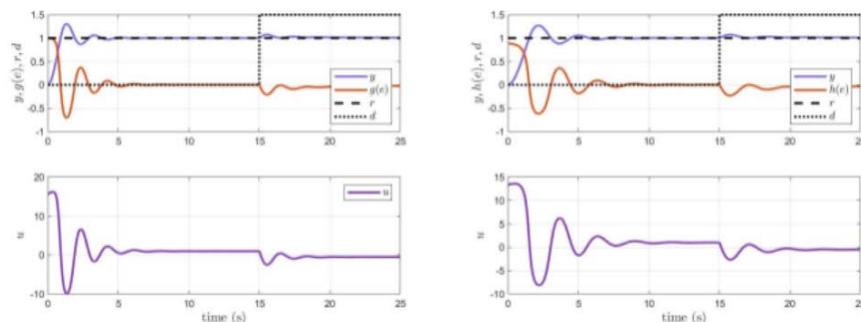


Fig. 1. Ejemplos numéricos para los controladores PI.

IV. CONCLUSIONES

En ambos ejemplos se puede observar un levantamiento rápido de la salida y como el controlador lleva rápidamente la señal al valor de referencia con poca oscilación. Además, se puede notar que la señal de control es una curva suave, por lo que no se tiene un esfuerzo de control muy grande. Cabe destacar que al aplicar la perturbación, se rechaza de manera casi total y se lleva la señal de salida a la referencia con poco sobre paso y poco esfuerzo de control a pesar de la gran magnitud de la perturbación, con lo que se puede afirmar que el sistema presenta una buena robustez.

La estabilidad de un sistema de primer orden en conexión con un controlador PI y una no linealidad de pendiente restringida puede ser garantizada al introducir un filtro que asegure la monotonía decreciente de la función de fase.

El método de diseño propuesto, brinda una manera rápida y simple de diseñar un sistema no lineal con un buen desempeño, estable y robusto.

REFERENCIAS

- [1] S. Akkaya, H. Nak y A. F. Ergenc, ((Design, Analysis And Experimental Verification Of A Novel Nonlinear PI Controller,)) *Anadolu University Journal of Science and Technology*, pags. 876-896, 2017.
- [2] J. Liu y W. Wang, ((Nonlinear Immune PID Controller and It's Application to the Heat Milling System's Material-level Control Jiuqing Liu,)) vol. 390, pags. 743-749, 2012. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.383-390.743.
- [3] H. Seraji, ((A New Class of Nonlinear PID Controllers with Robotic Applications,)) vol. 15, pags. 161-181, 1998.
- [4] J. Zhang, H. Tugal, J. Carrasco y W. P. Heath, ((Absolute Stability of Systems With Integrator and / or Time Delay via Off-Axis Circle Criterion,)) vol. 2, n.o 3, pags. 411-416, 2018.
- [5] J. Carrasco, M. C. Turner y W. P. Heath, ((Zames – Falb multipliers for absolute stability : From O ' Shea ' s contribution to convex searches,)) *European Journal of Control*, vol. 28, pags. 1-19, 2016, ISSN: 0947-3580. DOI: 10.1016/j.ejcon.2015.10.003. direccion: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejcon.2015.10.003>.

Análisis de estabilidad de un sistema no lineal con controladores PD inmune

Stability analysis of a nonlinear system with PD immune controllers

Raul Brenes Astorga

*Estudiante, Escuela de Ingeniería Eléctrica, UCR
Correo electrónico: jose.brenesastorga@ucr.ac.cr*

Mercedes Chacón Vásquez

*Profesora, Escuela de Ingeniería Eléctrica, UCR
Correo electrónico: mercedes.chaconvasquez@ucr.ac.cr*

Palabras clave:

Control inmune, control no lineal, control PD, criterio de Popov, criterio del círculo, estabilidad absoluta.

Keywords:

Immune control, nonlinear control, PD control, Popov's criterion, circle criterion, absolute stability.

I. INTRODUCCIÓN

El algoritmo inmune ha sido utilizado en años recientes como una manera de mejorar de manera significativa el control de procesos al combinarse con controladores de tipo PID presentando una buena adaptabilidad, rechazo de perturbaciones y que al combinarse con diversas técnicas de optimización enfocadas en reducir criterios de error como el ITAE, entre otros; muestran resultados muy positivos en términos de desempeño, ejemplos de esto son [1],[2],[3],[4],[5]. El concepto detrás de su funcionamiento se deriva del proceso biológico en el que, el cuerpo elimina amenazas externas por medio del proceso de eliminación de antígenos. [3]. El algoritmo inmune se representa como:

$$f(x) = 1 - \frac{2}{e^{-ax} + e^{ax}} \quad (1)$$

Donde K y η son constantes positivas, $e(t)$ es la señal de error, $u(t)$ es la señal de control y f es una función no lineal. Una de las formas más comunes de implementar el algoritmo es por medio de una función hiperbólica de criterio

$$f(x) = 1 - \frac{1}{\cosh(\eta x)} = 1 - \frac{2}{e^{ax} + e^{-ax}}, \quad a > 0 \quad (2)$$

Este trabajo presenta el análisis y deducción de las condiciones que garantizan la estabilidad de un sistema de primer orden implementando un controlador PD en conexión con una no linealidad sectorial general usando el criterio del círculo y el criterio de Popov, para luego aplicar las deducciones a las no linealidades propuestas y así mostrar su estabilidad de manera inmediata ya que representan casos particulares; probando la estabilidad del algoritmo inmune implementado en una conexión propia de un sistema de Lur'e y otras dos variantes de este método.

II. ANÁLISIS Y DEDUCCIÓN DE LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD

A continuación, se muestra el análisis de estabilidad para un sistema descrito por el siguiente modelo en espacio de estados.

$$h(x) = \frac{2}{\pi} \cdot \arctan(ax) \text{ con } a > 0 \quad (3)$$

Definición 1. [6] (Condición de sector): Sea $\psi : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ una función continua.

Se dice que ψ pertenece al sector $[\alpha, \beta]$ con $\beta > \alpha$, denotado como $\psi \in [\alpha, \beta]$; si se satisface que $\psi(0) = 0$ y además:

$$\forall (u \neq 0) \left(\alpha \leq \frac{\psi(u)}{u} \leq \beta \right) \quad (4)$$

Teorema 1. [6] Criterio de Popov (Caso escalar): Si para $\psi \in [0, k]$, $G(s)$ es Hurwitz y existe $\gamma \geq 0$ tal que

$$\forall (\omega \geq 0) \left(\frac{1}{k} + \operatorname{Re}\{G(j\omega)\} - \gamma \omega \operatorname{Im}\{G(j\omega)\} > 0 \right) \quad (5)$$

Entonces el sistema (3) es globalmente, asintóticamente estable.

Teorema 2. [6] Criterio del Círculo (Caso escalar): El sistema (3) es globalmente, asintóticamente para una no linealidad $\psi \in [\alpha, \beta]$, con $\alpha < 0 < \beta$, si $G(s)$ es Hurwitz y además:

$$\forall (\omega \geq 0) \left(\operatorname{Re} \left\{ \frac{\frac{1}{\beta} + G(j\omega)}{\frac{1}{\alpha} + G(j\omega)} \right\} < 0 \right) \quad (6)$$

Gráficamente el resultado anterior establece que para garantizar la estabilidad, el diagrama de Nyquist de $G(s)$ debe estar completamente en el interior del disco $D(\alpha, \beta)$. [6]

El tipo de sistema más común que se encuentra en las industrias corresponde al sistema de primer orden, por lo que para efectos del siguiente análisis, se hará tomando en cuenta la función de transferencia de dicho tipo de proceso para así poder utilizarse en la mayor cantidad de aplicaciones posibles.

Un sistema de primer orden esta descrito por la siguiente función de transferencia

$$P(s) = \frac{a_0}{bs + 1} \quad (7)$$

Donde a_0 y b son constantes reales positivas.

Para una no linealidad en el sector $[0,k]$

La función de transferencia de un controlador tipo PD con filtro de constante λ corresponde a

$$C(s) = K_p + \frac{K_d s}{\lambda s + 1} = \frac{[K_p (\lambda s + 1) + K_d s]}{(\lambda s + 1)} \quad (8)$$

La función de lazo abierto para un sistema de primer orden en conexión con el controlador PD con filtro viene dada por la expresión

$$G(s) = C(s)P(s) = \frac{[K_p (\lambda s + 1) + K_d s]}{(\lambda s + 1)} \cdot \frac{a_0}{bs + 1} = \frac{a_0 [K_p (\lambda s + 1) + K_d s]}{\lambda bs^2 + (\lambda + b)s + 1} \quad (9)$$

Note que $G(s)$ es Hurwitz.

Sustituyendo $s = j\omega$, se separan las partes real e imaginaria de $G(s)$, luego se multiplica la parte imaginaria por $-\gamma\omega$ y se suman las expresiones para obtener

$$\Re\{G(j\omega)\} - \gamma\omega\Im\{G(j\omega)\} = \frac{a_0 [K_p + \omega^2 (\lambda^2 K_p + \lambda K_d) + K_d \omega^2 b]}{(1 - \lambda b \omega^2)^2 + (\lambda + b)^2 \omega^2} + \frac{\gamma a_0 \omega^2 [\omega^2 (\lambda^2 K_p b + \lambda K_d b) + (K_p b - K_d)]}{(1 - \lambda b \omega^2)^2 + (\lambda + b)^2 \omega^2} \quad (10)$$

Bajo la condición de que $K_p b - K_d > 0$, basta tomar. $\gamma = \frac{1}{K_p b - K_d} > 0$ y la expresión se convierte en

$$\Re\{G(j\omega)\} - \gamma\omega\Im\{G(j\omega)\} = \frac{a_0 [K_p + \omega^2 (\lambda^2 K_p + \lambda K_d) + K_d \omega^2 b]}{(1 - \lambda b \omega^2)^2 + (\lambda + b)^2 \omega^2} + \frac{a_0 \omega^2 \left[\frac{\omega^2 (\lambda^2 K_p b + \lambda K_d b)}{K_p b - K_d} + 1 \right]}{(1 - \lambda b \omega^2)^2 + (\lambda + b)^2 \omega^2} > 0 \quad (11)$$

para todo $\omega \geq 0$.

De la ecuación anterior se infiere mediante el Criterio de Popov que el sistema sería globalmente, asintóticamente estable para cualquier no linealidad en el sector $[0, \infty]$. Cabe destacar que al hacer $\lambda = 0$ y al escoger γ de la misma manera el caso ideal se deduce de manera inmediata ya que la expresión anterior toma la forma

$$\Re\{G(j\omega)\} - \gamma\omega\Im\{G(j\omega)\} = \frac{a_0(K_p + K_d\omega^2b)}{b^2\omega^2 + 1} + \frac{a_0\omega^2}{b^2\omega^2 + 1} > 0 \quad (12)$$

Mediante el Criterio de Popov se sigue que el sistema usando un controlador PD ideal sería asintóticamente estable para cualquier no linealidad en el sector $[0, \infty]$.

Para una no linealidad en el sector $[-c, c]$, con $c > 0$

Partiendo de la expresión (9), considere la ecuación

$$\frac{\frac{1}{c} + G(s)}{-\frac{1}{c} + G(s)} = \frac{\lambda bs^2 + (\lambda + b)s + 1 + a_0c[\lambda K_p s + K_p + K_d s]}{-\lambda bs^2 - (\lambda + b)s - 1 + a_0c[\lambda K_p s + K_p + K_d s]} \quad (13)$$

Sustituyendo $s = j\omega$ y aislando la parte real de la expresión se obtiene

$$\Re\left\{\frac{\frac{1}{c} + G(j\omega)}{-\frac{1}{c} + G(j\omega)}\right\} = \frac{[(a_0cK_p)^2 - (\lambda b\omega^2 - 1)^2] + \omega^2[(a_0cK_d + a_0c\lambda K_p)^2 - (\lambda + b)^2]}{(\lambda b\omega^2 + a_0cK_p - 1)^2 + \omega^2(a_0cK_d + a_0c\lambda K_p - (\lambda + b))^2} \quad (14)$$

Finalmente, a partir de la expresión anterior, es posible determinar las relaciones de las ganancias que hacen que la parte real de la expresión sea negativa

$$\Re\left\{\frac{\frac{1}{c} + G(j\omega)}{-\frac{1}{c} + G(j\omega)}\right\} < 0 \iff |a_0cK_p| < |\lambda b\omega^2 - 1| \wedge |a_0cK_d + a_0c\lambda K_p| < |\lambda + b| \quad (15)$$

De la condición que toma en cuenta únicamente a la ganancia proporcional, se infiere que existen rangos de frecuencia en los cuales la desigualdad no se satisface. Como el criterio del círculo establece que la parte real de la expresión debe ser negativa para toda frecuencia no negativa, no es posible garantizar la estabilidad del lazo para no linealidades en el sector $[-c, c]$ por medio de este criterio, con la excepción de que $\lambda = 0$, condición que es precisamente el caso del PD ideal ya que las condiciones pasan a ser

$$\Re\left\{\frac{\frac{1}{c} + G(j\omega)}{-\frac{1}{c} + G(j\omega)}\right\} < 0 \iff |a_0cK_p| < 1 \wedge |a_0cK_d| < |b| \iff K_p < \frac{1}{a_0c} \wedge K_d < \frac{b}{a_0c}$$

Si se satisfacen las condiciones anteriores, por el Criterio del Círculo se puede afirmar que el sistema sería globalmente, asintóticamente estable para cualquier no linealidad en el sector $[-c, c]$.

La función de lazo abierto para un sistema de primer orden en conexión con el controlador PD con filtro viene dada por la expresión

Se identificó un modelo para el proceso con base en la respuesta al escalón para tres condiciones: la respuesta de ϕ ante un escalón de $15 \mu s$ a lazo abierto, la respuesta de ϕ ante un escalón de $26 \mu s$ a lazo abierto, y la respuesta de θ ante un escalón de $15 \mu s$ a lazo abierto. Esto se debe a que el ángulo ϕ presentaba una respuesta muy diferente entre cambios pequeños y cambios grandes de rotación, por lo que se buscó sintonizar un controlador que actúe en función de la magnitud del cambio en la referencia correspondiente. Para cada caso se calcularon modelos de segundo orden subamortiguados con parámetros tales que tuvieran la misma ganancia que el sistema, y reflejaran adecuadamente la dinámica del pico de la respuesta, que se considera la característica más importante de reflejar en el modelo debido a que es la más rápida y de mayor magnitud [1]. Se obtuvo un controlador inicial utilizando el método de control por modelo interno (IMC) [2]. Posteriormente se buscaron los parámetros de un controlador óptimo por medio de la función de MATLAB `fminsearch` tomando como valores iniciales los parámetros obtenidos por medio del método IMC. La función a optimizar se describe por medio de los índices de desempeño con factores de peso, tales que:

Se observa que el controlador obtenido al minimizar la Ecuación 2 mediante la función `fminsearch` de MATLAB presenta un buen desempeño, tal y como se puede observar en las Figuras 1 y 2 y en el Cuadro 2. Presenta un rendimiento mucho mejor que controlador diseñado por un método simple de sintonización, como lo es el IMC. A pesar de esto, cabe destacar que la necesidad de función `fminsearch` de contar con valores iniciales para el controlador, permite mejorar el rendimiento de la optimización al utilizar el diseño IMC para este propósito.

IV. REFERENCIAS

- [1] J. D. Fernández y M. Espinoza, *Modelado y análisis de sistemas lineales*. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica, 2018, vol. 1.
- [2] V. Alfaro, *Sistemas de control proporcional, integral y derivativo: Algoritmos, análisis y ajuste*. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica, 2018, vol. 1.

Control de posición y velocidad de un “QUANSERQUBE-SERVO” Mediante el dispositivo MYRIOS

Position and speed control of a “QUANSER QUBE-SERVO” through the MYRIO Device

Daniel Campos Salas

*Estudiante, Escuela de Ingeniería Eléctrica, UCR
Correo electrónico: danielantonio.campos@ucr.ac.cr*

*Orlando Arrieta Orozco, José David Rojas Fernández
Investigador, Instituto de Investigaciones en Ingeniería, UCR
Correo electrónico: orlando.arrieta@ucr.ac.cr*

Palabras clave:

Control estructural, lagrangiano, modelado dinámico, optimización, sistema inestable.

Keywords:

Structural control, lagrangian, dynamic modeling, optimization, unstable system.

I. INTRODUCCIÓN

Así como la física estudia los principios del universo, la ingeniería busca la manera de aplicar esos conocimientos en mejorar la calidad de vida del ser humano. La automatización es la forma de ordenación a partir de la secuenciación automática de tareas y regulación de variables, para que sigan las consignas impuestas [1]. En la historia se destacan procesos como las puertas del templo Herón, los molinos de viento, la máquina de vapor de Watt, el regulador de Watt, entre otros [2]. En este trabajo se busca plantear el sistema de un péndulo invertido desde el punto de vista físico, para posteriormente buscar controlar la posición de este de manera automática.

II. METODOLOGÍA

El sistema se analizó por el método Lagrangiano descrito en [3], donde se analiza la energía potencial y cinética del péndulo mediante el tensor de inercia y posteriormente se agregan las fuerzas externas de la resistencia del aire y el torque proporcionado por el Quanser. Cumpliendo con dicho método se obtiene la ecuación que describe el comportamiento del péndulo como:

$$\frac{L_2 \varphi''}{6} + g \text{sen}(\varphi) + \frac{2B\varphi'}{ML_2} = \frac{k_t V}{R_m ML_1} \quad (1)$$

donde k_t es la constante de torque, R_m la resistencia de la terminal, V la tensión suministrada por el Quanser, M es la masa del péndulo, L_1 la distancia de la barra horizontal y L_2 la distancia del péndulo. Estos datos son dados por [4].

Para la obtención de la constante de la resistencia del aire B , se suponen cambios pequeños en ϕ de modo que $\sin(\phi) \rightarrow \phi$ y de esta manera obtener la ecuación en el dominio de la frecuencia, por lo que se pone a oscilar el péndulo con pequeñas oscilaciones y gracias a un método de identificación propuesto en [5] se compara la curva obtenida por la descrita en la ecuación y se obtiene que $B=1,47 \times 10^{-5}$ [N·m·s].

Con todos los parámetros establecidos sustituimos estos en la Ecuación 1 y obtenemos que el péndulo cerca de su posición vertical, donde $\sin(\phi+\pi) \rightarrow -\phi$, observando que el proceso es inestable se identifica un modelo de primer orden con tiempo muerto según el método de [5].

$$P(s) = \frac{\alpha(s)}{V(s)} = \frac{13,028}{s^2 + 0,443s - 454,884}, \quad P_{model}(s) = \frac{0,02844e^{-0,045s}}{0,0511s - 1} \quad (2)$$

Ahora se procede en sintonizar un controlador PID para procesos inestables según [5], el cual establece que según los parámetros del modelo P_{model} obtienen los parámetros del controlador $K_p=41,3$, $T_i=1,56s$ y $T_d=0,015s$. Experimentalmente en el laboratorio se determinó que el factor integral del controlador presenta problemas por lo que se desactiva la parte integral del controlador y se sintoniza un controlador PD.

Por lo tanto, se procede a sintonizar el controlador final mediante la función `fminimax` de MATLAB, la cual busca minimizar el error ISE de la función cuando ocupa realizar un cambio escalón de 20° o $0,349$ rad. Entonces tomando los parámetros del controlador anteriormente usados como punto inicial y también limitando la señal de control a $\pm 10V$, se obtienen los parámetros óptimos $K_p=109,6$ y $T_d=0,019s$, con un filtro de $K_f=0,01$.

Por otra parte, siguiendo el procedimiento sugerido en [4], cuando el péndulo se encuentra alejado de la posición vertical, la señal de control se ve atribuida a dos aspectos clave: a la diferencia de energía del sistema con la energía de referencia, y a la posición y velocidad del péndulo. Para el primer aspecto se calcula la energía de referencia como la energía que tiene el sistema si se encontrara estático en $\phi=160^\circ$, puesto que para sintonizar el controlador se supusieron condiciones iniciales nulas; por lo tanto, mientras menos energía tenga el sistema mayor torque se proporcionará y este irá disminuyendo mientras el sistema gana energía y por lo tanto acercándose a $\phi=\pi$. El segundo aspecto involucra la dirección del torque, puesto que para producir mayores oscilaciones se busca que, cuando $\cos(\phi)$ es positivo, la señal de tensión sea contraria a la velocidad radial ϕ' ; en cambio cuando $\cos(\phi)$ es negativo se busca que la señal de tensión produzca un torque en la misma dirección a la velocidad radial ϕ' .

III. RESULTADOS

Se implementa el sistema de control y se obtiene la señal que se observa en la Figura 1, donde se observan grandes oscilaciones al inicio, donde el péndulo gana energía, y finalmente un control de la posición donde se ve que $\alpha=0^\circ$, donde $\alpha=\phi-180^\circ$; por lo que concluimos que el análisis físico y la sintonización del controlador se realizaron de manera correcta.

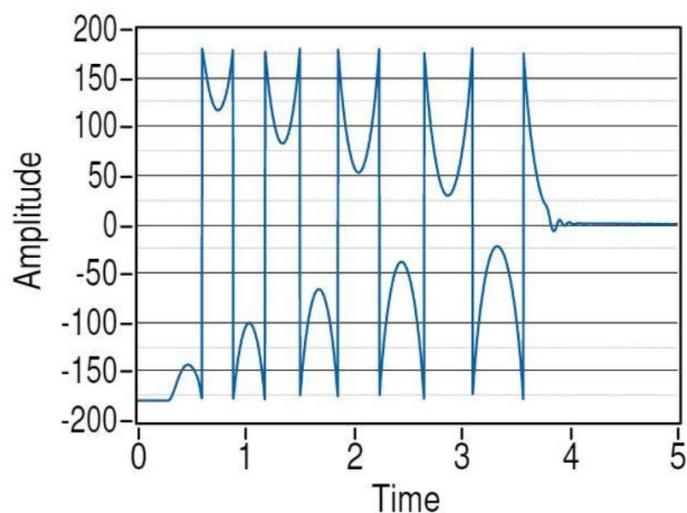


Fig 1. Señal α controlada por el sistema antes descrito.

IV. REFERENCIAS

- [1] A. Robles, INTRODUCCIÓN A LA AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS, Universidad de Oviedo, 2005. dirección: <http://isa.uniovi.es/~arobles/ra2/pdf/t1intro.pdf>.
- [2] F. Torres, Introducción a la automatización y el control. Universidad de Alicante. dirección: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/18432/1/Tema%5C%201Introduccion.pdf>.
- [3] S. Thornton y J. Marion, Classical Dynamics of Particles and Systems, Fifth Edition. THOMSON BROOKS/COLE, 2003.
- [4] NI, Quanser QUBE-Servo Dispositivo my RIO de Control, Robótica y Mecatrónica. dirección: <https://www.ni.com/es-cr/support/model.quanser-qube-servo.html>.
- [5] V. M. Alfaro, Sistemas de control proporcional, integral y derivativo: Algoritmos, análisis y ajuste, 1ra ed. San José: Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica, 2018.

Diseño de un banco de pruebas para motores de combustión interna para la Escuela de Ingeniería Mecánica

Design of a testing bench for internal combustion engines for the Department of Mechanical Engineering

Anthony de Jesús Campos Méndez
Estudiante, Escuela de Ingeniería Mecánica, UCR

Erick Chaves Chinchilla
Estudiante, Escuela de Ingeniería Mecánica, UCR
Correo electrónico: erick.chaveschinchilla@ucr.ac.cr

*Percy Reece Esquivel Smith**
Estudiante, Escuela de Ingeniería Mecánica, UCR

Palabras clave:

Banco de pruebas, dinamómetro, flota vehicular, motor de combustión interna, protocolos de ensayo.

Keywords:

Testing bench, dynamometer, vehicle fleet, internal combustion engine, assay protocols.

I. INTRODUCCIÓN

Se plantea el diseño de un banco de pruebas con dinamómetro de banco, así como protocolos de ensayos basándose en estándares normalizados, las necesidades académicas de la Escuela y las características de flota vehicular costarricense, para plantear una herramienta que amplíe el aprendizaje a través de la investigación. Se pretende ofrecer una herramienta que eventualmente permita construir un centro de estudio que brinde soporte a la Universidad de Costa Rica, tanto para la investigación, como para las unidades académicas que se beneficien de su uso.

Como complemento para el banco de pruebas con dinamómetros de chasis, se aprecia la necesidad del estudio de los motores de combustión interna. Al contar con instalaciones adecuadas para esta tarea, la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Costa Rica tendría la posibilidad de realizar estudios de vanguardia para beneficio del país; con particular interés en el tema de emisiones contaminantes de los motores y el desarrollo de combustibles alternativos, así como el estudio de lubricantes de origen natural con menor impacto ambiental.

El diseño incluye todos los elementos necesarios para que se lleven a cabo las pruebas a un rango de motores definidos según su potencia máxima entregada, el proyecto se limita a la selección, especificación y distribución de los equipos que conforman el banco de pruebas, como el dinamómetro con su respectivo tipo de freno, así como los sensores e instrumentos correspondientes a las mediciones

realizables en el banco, definidos según las necesidades académicas. El diseño incluirá los planos constructivos del banco de pruebas, características de cimientos para el control de vibraciones, sistema de escape de gases, sistema de ventilación, sistema de atención de emergencias, sistema de almacenamiento y suministro de combustible, sistema de refrigeración del motor y aislamiento acústico, así como los protocolos de pruebas.

La construcción del banco de pruebas para motores de combustión interna dependerá de los intereses de la escuela y el financiamiento del que esta disponga para proyectos con este fin dentro del campus universitario, por lo que tanto su construcción como revisión y puesta en marcha queda fuera de los alcances de este trabajo.

II. METODOLOGÍA

Se empieza por un estudio de la flota vehicular costarricense al intentar contactar a las instituciones competentes, cuyas bases de datos completas son inaccesibles por motivos de costo económico. Se procede a solicitar información menos específica y se obtienen datos promedio de la cilindrada de la flota vehicular; con los que se determina que es posible relacionar los datos de cilindrada de los motores con su potencia desarrollada [1], así, es posible la selección de la capacidad mínima requerida para el dinamómetro de banco a instalar. Por otro lado, para la selección de tipo apropiado de dinamómetro, a elegir entre los diferentes tipos disponibles, se elabora un cuadro comparativo de sus características diferenciales en diferentes aspectos fundamentales y se determina que el Dinamómetro Hidráulico es óptimo para cumplir con los objetivos del diseño. Como punto aparte, con la intención de habilitar la disponibilidad de la herramienta en diferentes sedes de la Universidad de Costa Rica, se decide ubicar el diseño en el interior de un contenedor para permitir su traslado, en caso que las unidades académicas fuera de la sede Rodrigo Facio lo soliciten.

Para el proceso de diseño de los sistemas complementarios se toman las recomendaciones de diseño típicas del mercado para los sistemas requeridos en un banco de pruebas para ser operacional y seguro para los usuarios [2]. En el sistema de ventilación se presta especial atención a la cantidad de cambios de volumen de aire por hora en el recinto según el motor a estudiar y se compara con el mínimo recomendado, con base en esto se define la capacidad de los extractores de aire y se decide emplear louvers para la admisión de aire gracias al diferencial de presión. En el caso del sistema de refrigeración se toma en cuenta el calor emitido por el motor y el dinamómetro durante su funcionamiento con lo que se determina el flujo de agua de refrigeración que debe manejar la torre de enfriamiento; en este caso se destaca que el uso de un dinamómetro hidráulico requiere una torre de enfriamiento, por lo que se aprovecha para acoplar el sistema de refrigeración en el mismo circuito de agua. Por otro lado, el sistema de gases de escape resalta el manejo de las emisiones contaminantes de la combustión para extraerlas del recinto de manera limpia con un catalizador y evitar el desplazamiento de oxígeno en el recinto. El sistema de aislamiento acústico destaca la reverberación del contenedor y su atenuación con lana de roca y visores acústicos para cumplir con la reglamentación de ruido en el país. De manera similar, el sistema de control de vibraciones se encarga de mantener la exactitud de las mediciones y permitir un mecanismo para cambiar el motor de ensayo en el interior del contenedor cuando sea

IV. REFERENCIAS

- [1] J. B. Heywood, *Internal combustion engine fundamentals*, 2nd ed. Nueva York, Estados Unidos: McGraw-Hill Book Company, 2018.
- [2] A. J. Martyr and M. A. Plint, *Engine testing: theory and practice* 3rd ed. Oxfordshire, Inglaterra: Elsevier, 2011.

Implementación de un prototipo de entretenimiento diseñado para población con parálisis cerebral en posición supina

Implementation of an entertainment prototype designed for population with cerebral palsy in supine position

Anthony de Jesús Campos Méndez
Estudiante, Escuela de Ingeniería Mecánica, UCR

Erick Chaves Chinchilla
Estudiante, Escuela de Ingeniería Mecánica, UCR
Correo electrónico: *erick.chaveschinchilla@ucr.ac.cr*

*Percy Reece Esquivel Smith**
Estudiante, Escuela de Ingeniería Mecánica, UCR

Palabras clave:

Comunicación inalámbrica, estimulación motriz, parálisis cerebral, posición supina, prototipo.

Keywords:

Cerebral palsy, motor stimulation, prototype, supine position, wireless communication.

I. INTRODUCCIÓN

El entorno actual ha provocado que las personas con parálisis cerebral se enfrenten a limitaciones sociales, ambientales y de movilidad, provocando en ellas barreras de participación en distintos ámbitos. Alrededor del año 2000, se establece una nueva clasificación que brinda un enfoque distinto de la parálisis cerebral y que promueve una relación del medio con las personas, además de la relevancia del apoyo para el mejoramiento personal [1].

Actualmente gracias a la clasificación internacional del funcionamiento (CIF), se determina que la parálisis cerebral (PC) es una patología heterogénea en la que están afectadas todas las áreas de desarrollo de la persona [2]. Además de ser un enfoque transdisciplinario con atención a la comunicación, el movimiento, las emociones, el sistema sensorial de las personas con PC, entender el ambiente de la persona, es fundamental para eliminar barreras y potenciar facilitadores y apoyos [3].

Debido al alto impacto tecnológico, es necesario inspeccionar cómo estos avances forman parte del mejoramiento de la calidad de vida de las personas. Bajo esta óptica, se hace imprescindible establecer preguntas acerca del valor y la contribución de las diferentes tecnologías para favorecer realmente la calidad de vida cotidiana de personas con discapacidad.

Este proyecto busca la implementación de un prototipo para personas con PC para mejorar aspectos de ocio y recreación, adaptando el medio hacia estas personas, además de fortalecer la motora gruesa de los individuos. Esto se logrará con sensado de movimiento en sus extremidades inferiores cuando se encuentren en una posición de descanso, acostados sobre la cama y sobre su espalda (posición supina), lo que provocará que un controlador realice distintas acciones sobre luces tipo LED dispuestas en una superficie, asociando el movimiento de las personas con colores, figuras u otras ideas.

II. METODOLOGÍA

Este proyecto se divide en dos etapas: una primera parte relacionada con una investigación bibliográfica sobre diseños para personas con parálisis cerebral y una segunda parte basada en el diseño e implementación de un prototipo con sensado de movimiento para personas con esta discapacidad.

Luego del planteamiento teórico y la documentación necesaria, se procedió al diseño e implementación del prototipo que servirá como herramienta para personas con parálisis cerebral. Para este último objetivo, se utilizó la herramienta de programación Arduino, además de los sensores y actuadores requeridos para el funcionamiento del mismo.

III. SIMULACIÓN, RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la fig 1. se muestra los circuitos implementados para el desarrollo de este proyecto.

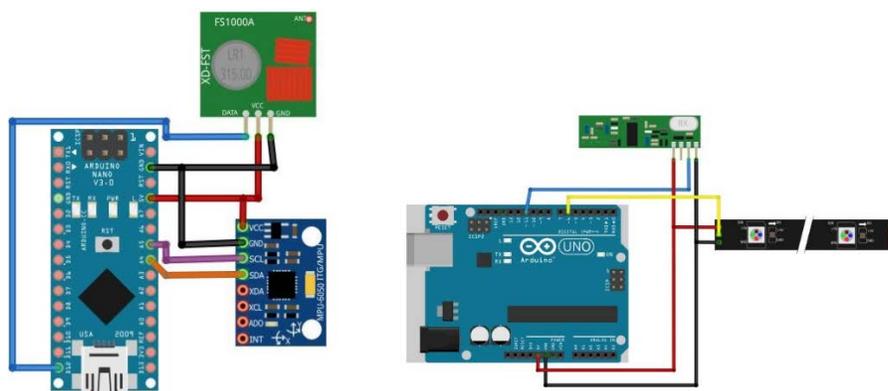


Fig. 1. Diagrama de conexiones de los circuitos implementados. Creación propia.

En el diseño se establecieron tres movimientos claves para enviar los datos del transmisor hacia el receptor. el umbral de estos movimientos se estudió mediante curvas generadas por la unidad de medición inercial, tal como se muestra en la fig. 2. Es entonces, mediante estas curvas que se analizaron los datos generados para las posiciones de las piernas que se desean y permitir controlar las acciones que tomará el Arduino en el módulo receptor.

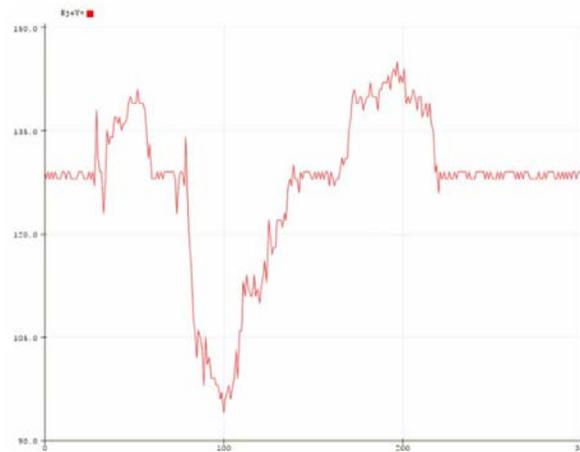


Fig. 2. Respuesta en el eje Y ante variaciones de movimiento. Creación propia.

Lo que interesa analizar de los datos en la curva anterior (figura 2), son los picos que ocurren, pues es ahí donde se crea el umbral para que tomar acciones y decisiones en la parte programable. Debido a la falta de fuentes bibliográficas, para efectos demostrativos, se establecen los siguientes tres movimientos (figura 3) a criterio personal, teniendo en cuenta que el movimiento de cada persona es variable, sin embargo, en una implementación práctica con una persona con PC, se puede adaptar fácilmente este rango de movimientos.



(a) Reposo

(b) Extensión

(c) Recogida

(d) Levantamiento

Fig 3. Posiciones de las piernas. Creación propia.

IV. OBJETIVOS PRÓXIMOS

- Reemplazar el Arduino por plataformas más robustas y de mayor desarrollo, una de las opciones en consideración es Delfino de Texas Instruments.
- Implementar más módulos de luces, sonido o video para facilitar una mayor interacción del usuario. Inclusive se puede pensar en el uso de un transmisor en cada pierna para una mayor estimulación motriz.

- Validar el funcionamiento del prototipo en la población con pc y cuantificar su impacto en dicha población.

V. CONCLUSIONES

El dispositivo tecnológico diseñado y desarrollado, integra diferentes características que brindan una alternativa de recreación para personas con discapacidad, ayudándoles a mejorar no solo en aspectos de ocio y recreación, sino que involucra la parte motriz, lo que permite una estimulación mientras se entretienen.

Como una primera aproximación, el dispositivo creado es bastante práctico y funcional, puesto que puede llegar a cumplir la función deseada e inclusive se puede llegar a utilizar como una herramienta de investigación en cuanto a motricidad para personas con parálisis cerebral, además de evaluar el impacto del mismo en las personas.

VI. REFERENCIAS

- [1] A. M. Muñoz, La parálisis cerebral 2016, <https://sid.usal.es/idocs/F8/FDO8993/paraliscerebral.pdf>.
- [2] M. Bax, M. Goldstein, P. Rosenbaum, A. Leviton, N. Paneth, B. Dan, B. Jacobsson y D. Damiano, < Proposed definition and classification of cerebral palsy, April 2005 > *Developmental Medicine amp; Child Neurology*, vol. 47, n.o 8, pa'gs. 571-576, 2005. DOI: 10.1017/S001216220500112X.
- [3] C. Arroyo, < Aplicación de la clasificación internacional del funcionamiento, de la discapacidad y de la salud para elaborar un perfil de necesidades de apoyo a una persona con parálisis cerebral. > Revista española sobre discapacidad intelectual, 2004.

External forces estimation on omnidirectional platform for safe control in human-robot interactions

Estimación de fuerzas externas sobre plataforma omnidireccional para un control seguro en interacciones humano-robots

Helber José Meneses Navarro

*Docente Escuela de Ingeniería Eléctrica, UCR
correo electrónico: helber.meneses@ucr.ac.cr*

Orlando Arrieta Orozco

*Investigador, Instituto de Investigaciones en Ingeniería, UCR
correo electrónico: Orlando.Arrieta@ucr.ac.cr*

Federico Ruíz Ugalde

*Investigador, Instituto de Investigaciones en Ingeniería, UCR
correo electrónico: federico.ruizugalde@ucr.ac.cr*

Keywords:

Contact forces, humanoid-robots, impedance control, mecanum wheels, mobile platforms

I. INTRODUCTION

Every day, it is more common to observe the integration of robots in environments such as logistic operations, retail stores, office spaces and home [1]. Consequently, the interaction of the robot with humans and the environment in general, is inevitable, and therefore it is expected that the behavior of the robot should not only be useful but also safe for humans and the objects that are around him [2].

The use of methods focused on post-collision reaction strategies is of primary concern in human-robot interactions and it has been analyzed by [3] and [4]. The robot considered in this research uses a mecanum-wheeled omnidirectional platform. While other humanoid robots use a legged solution, we decide to use this platform to avoid the balancing-while-manipulating problem. If a collision occurs, this robot would have the possibility to react by moving with complete freedom (omnidirectionally).

In order to adequately define the reaction strategy, knowledge of the external forces (magnitude, direction and point of contact) that are exerted on the robot during collisions is required [2]. In particular, during the movement of the robot when it is performing some task, the wheels are often the first part of the robot-body that may suffer a collision [2], and therefore, it is useful to know what is the behavior of the contact forces on the rollers of the mecanum wheels for the mobile platform of the humanoid robot shown in Fig. 1a. Specifically, we are interested in estimating

the external forces (magnitude and direction) of a collision with the humanoid robot in order to implement the best reaction strategy that minimizes the damage and also the transferred energy to the environment and hence, that is the problem that is addressed in this work.

Finding the solution to this problem, will allow us to define an adequate reaction strategy based on impedance control, which is one of the most widely used approaches and it has been addressed for instance by [5].

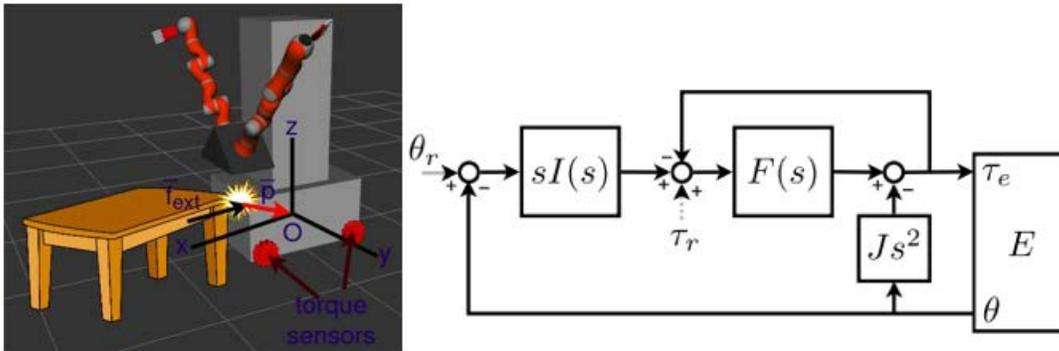


Fig. 1. Robot-environment interaction and impedance control schema. (a) External forces estimation during robot-environment interaction / (b) Impedance control scheme presented in [4]

In this work, we present a set of steps to estimate external forces on the mobile platform from measured torques on each wheel as can be seen in Fig. 1a.

II. PROBLEM FORMULATION AND RESULTS

A. Impedance control scheme

A simplified diagram to implement impedance control is shown in Fig. 1b. This considers a simple system with one degree of freedom (d.o.f) as the proposed by [6], where $F(s)$ represents the force controller and $sI(s)$ implements the required impedance, the motor is modeled as a pure inertia $\frac{1}{Js^2}$, τ_e is an external force from the environment, θ_r and τ_r are the position and force reference, respectively. It can be seen that in order to implement the inner control loop a good estimation of the external force τ_e is needed. In the mecanum mobile platform case, the main goal is to estimate the external force f_{ext} concentrated in the center of mass on the x axis $f_{ext,x}$, y axis $f_{ext,y}$ and the moment around the z axis $m_{ext,z}$.

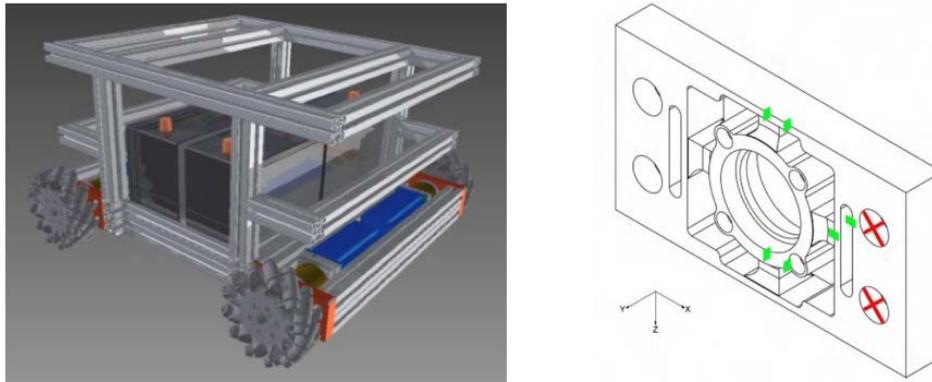
B. External torques estimation

With the purpose to estimate the external forces $f_{ext,x}$, $f_{ext,y}$ and torque $m_{ext,z}$, it is required to estimate the external torques on each wheel $\tau_{ext,i}$ of the mobile platform. This can be made employing a torque sensor capable of detecting the total torque $\tau_{R,i}$ in the axial axis for each wheel. Designing this sensor represents a challenge because the mechanical structure of the omnidirectional platform shown in fig. 2a. In order to achieve these capability as well as minimise the crosstalk due the capacity of the sensor

to measure forces and torque in different directions (it is capable to measure radial and axial forces, and torque around the axial axis of the wheels), the sensor presented in Fig. 2b was designed. The sensitivity elements correspond to strain gauges and they are marked with green color.

Therefore, to estimate $\tau_{ext,i}$ the following relation can be used when the mobile platform is in movement:

$$\tau_{R,i} = \tau_{m,i} + \tau_{ext,i} - B_i\omega_i - rf_{f,i}sgn(\omega_i) \quad (1)$$



(a) Omnidirectional mobile platform designed by [7] / (b) Force-torque sensor designed by [8]
Fig. 2. Omnidirectional mobile platform and torque-force sensor.

where sub-index $i \in \{1, 2, 3, 4\}$ specifies the wheel considered, $\tau_{m,i}$ is the motor torque, B_i is the viscous friction coefficient, ω_i is the angular velocity, r is the wheel's radius, $f_{f,i}$ is the Coulomb friction and sgn represents the sign function that depends on the direction of rotation. Moreover, the Coulomb friction can be expressed as:

$$f_{f,i} = \mu_d N_i \quad (2)$$

where μ_d is dynamic friction coefficient between the rollers of the mecanum wheels and the terrain, and N_i is the normal force in each wheel of the mobile platform. If the mobile platform is in zero velocity, the total friction of the system is due mainly to the static friction [9], therefore to estimate $\tau_{ext,i}$ the equation (1) can be redefined as:

$$\tau_{R,i} = \tau_{m,i} + \tau_{ext,i} - rf_{static,i}sgn(\omega_i) \quad (3)$$

where $f_{static,i}$ corresponds to the static friction. This force can be expressed as:

$$f_{static,i} = \mu_{static,i} N_i \quad (4)$$

where $\mu_{static,i}$ is the static friction coefficient between the rollers of the mecanum wheels and the terrain, and N_i is the normal force in each wheel of the mobile platform.

A similar approach to estimate the external torque $\tau_{ext,i}$ in the axial axis was made by [10], but without torque sensors and based on the calculus of the angular acceleration and moment of inertia for each wheel.

B.1. Friction forces estimation

When the mobile platform is in movement, as it was seen in equation (1), to estimate $\tau_{ext,i}$, four terms should be calculated. By knowing the electrical characteristics of the motor (torque constant K_t) from manufacturer specifications or experimental tests and measuring the stator currents in the BLAC motor (this motor is used in the mobile platform), $\tau_{m,i}$ can be calculated. Moreover, when the mobile platform is moving with constant speed in the absence of external forces (due to collisions), $\tau_{m,i}$ is equivalent to the total friction torque because $\tau_{R,i}$ is approximately equal zero. Therefore a set of tests can be made in order to estimate the Bi coefficients. For instance, using a strong mechanical structure, the humanoid robot can be placed on it in such a way that the wheels are not in contact with the ground and using a constant speed (see for example [11]) the Bi coefficient can be estimated as:

$$B_i = \frac{\tau_{m,i}}{\omega_i} \quad (5)$$

and in order to have a better estimation, a average value for B_i obtained considering different speeds can be made.

In order to estimate the Coulomb friction, the equation (6) can be used when the mobile platform is moving in a constant speed and there is not an external force applied to the mobile platform:

$$rf_{f,i} \operatorname{sgn}(\omega_i) = \tau_{m,i} - B_i \omega_i \quad (6)$$

With the purpose to estimate the dynamic friction coefficient μ_d , the normal force N_i on each wheel should be estimated and consequently, we consider the equation (7) proposed by [12]:

$$N_i = \left(\frac{d - b_i}{d} \right) \left(\frac{c - a_i}{c} \right) mg \quad (7)$$

where d is the distance from the back wheels to the front wheels, c is the distance from the left-hand wheels to the right-hand wheels, b_i is the distance from the center of the wheel i to the center of mass in the y direction and a_i is the distance from the center of the wheel i to the center of mass in the x direction, m is the mass of the humanoid robot and g is the gravity acceleration. This information can be seen in Fig. 3. The values of a_i and b_i should be always positives in order to guarantee the

projection of the center of mass is inside the mobile on the x-y plane and therefore the vehicle will be stable, [12].

This estimation of the normal force is very important because when the robot is developing any collaborative task, the projection of the center of mass on the plane x-y is not always in the same position of the mobile platform and it is not located in the geometric center of the mobile platform commonly. This happens mainly due to the movements of robot arms during the execution of any task.

Therefore, by using equations (2), (6) and (7), the dynamic friction coefficient μ_d could be estimated.

As it was mentioned above, when the humanoid robot is in rest, the total friction is equal to the static friction [9]. Hence, the estimation of $\mu_{static,i}$ can be made in the absence of external torques, using the relationship shown in equation (3). Thus, $\mu_{static,i}$ coefficient can be estimated as:

$$\mu_{static,i} = \frac{\tau_{m,i}}{rN_i} \tag{8}$$

Finally, using the equations (1) and (3) and knowing the parameters $B_i, N_i, \mu_{static,i}, \mu_{d,i}$ and K_i the external torque $\tau_{ext,i}$ could be estimated through the information provided by the force-torque sensors and sensing the stator currents of the motors.

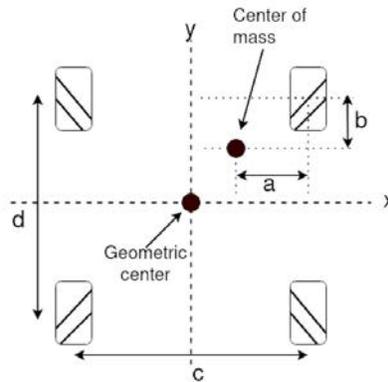


Fig. 3: Geometric center and center of mass of the mobile platform

C. External forces estimation

Once the external torques on each wheel have been estimated, the statics principle (see [13]) can be applied:

$$\bar{\tau}_{ext,\omega} = J^T \bar{f}_{ext} \tag{9}$$

where $\tau_{ext,\omega}^- = [\tau_{ext,\omega}, \tau_{ext,\omega}, \tau_{ext,\omega}, \tau_{ext,\omega}]^T$ is the vector of external torques on the wheels and $f_{ext}^- = [f_{ext,x}, f_{ext,y}, m_{ext,z}]^T$ is the vector of external forces in the mobile platform and J^T is the transpose of the

Jacobian. The Jacobian is defined using the forward kinematics model that relates the velocity of the mobile platform with the angular velocity of each wheel for a mobile platform with four mecanum wheels. The transpose of the Jacobian is defined in equation (10):

$$J^T = \frac{1}{r} \begin{bmatrix} 1 & 1 & -\left(\frac{d+c}{2}\right) \\ 1 & -1 & \left(\frac{d+c}{2}\right) \\ 1 & -1 & -\left(\frac{d+c}{2}\right) \\ 1 & 1 & \left(\frac{d+c}{2}\right) \end{bmatrix} \quad (10)$$

Therefore, \bar{f}_{ext} can be estimated as:

$$\bar{f}_{ext} = J^{+T} \bar{\tau}_{ext} \quad (11)$$

where J^{+T} is the transpose of the pseudo inverse Jacobian.

In short, the method to estimate external forces on the mobile platform from measured torques in the wheels and sensing stator currents in the motor is implemented using equation (1) or (3) to estimate the torque due to external forces $\tau_{ext,i}$ and finally applying (11).

III. CONCLUSIONS

The problem to estimate the external forces exerted over a humanoid robot mounted on a mobile platform with mecanum wheels during collisions is addressed. The method proposed for that estimation is based on the use of torque sensors as well as experimental tests that allow an estimation of the friction forces on the rollers of the wheels as well as the viscous friction, and the procedure to estimate the external forces is simple. We are working in applying this method in the simulator of a humanoid robot. As future work, a validation of this method should be done in order to implement an impedance control behavior that guarantees a compliant behavior of the robot when it interacts with the environment. Moreover, it is expected to design a method to detect the point of contact when a collision or intentional force is applied to the humanoid robot.

IV. REFERENCES

- [1] H. Zender, P. Jensfelt, O. M. Mozos, G.-J. M. Kruijff y W. Burgard, ((An Integrated Robotic System for Spatial Understanding and Situated Interaction in Indoor Environments,)) en Proceedings of the Twenty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence, 2007.
- [2] K. S. Kim, T. Llado y L. Sentis, ((Full-body collision detection and reaction with omnidirectional mobile platforms: a step towards safe human-robot interaction,)) Autonomous Robots, vol. 40, n.o 2, pags. 325-341, 2016, ISSN: 1573-7527. DOI: 10.1007/s10514-015-9464-x.
- [3] S. Haddadin, A. De Luca y A. Albu-Schäffer, Robot Collisions: A Survey on Detection, Isolation,

- and Identification, *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 33, n.o 6, pa'gs. 1292-1312, 2017. DOI: 10.1109/TRO.2017.2723903.
- [4] J. Vorndamme, M. Schappler y S. Haddadin, Collision detection, isolation and identification for humanoids, en *2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2017, pa'gs. 4754-4761. DOI: 10.1109/ICRA.2017.7989552.
- [5] A. Dietrich, K. Bussmann, F. Petit, P. Kotyczka, C. Ott, B. Lohmann y A. Albu-Schaffer, "((Whole body impedance control of wheeled mobile manipulators,)) *Autonomous Robots*, vol. 40, n.o 3, pags. 505-517, 2016, ISSN: 1573-7527. DOI: 10.1007/s10514-015-9438-z.
- [6] A. Calanca, R. Muradore y P. Fiorini, ((A Review of Algorithms for Compliant Control of Stiff and Fixed Compliance Robots,)) *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 21, n.o 2, pags. 613-624, 2016.
- [7] D. Ortuño, Design of a force-torque sensor for the mobile base of a humanoid robot, University of Costa Rica, inf. te'c., 2018.
- [8] F. Go'mez, Design, construction and start up of an omnidirectional mobile base, University of Costa Rica, inf. te'c., 2015.
- [9] D. Papageorgiou, M. Blanke, H. Niemann y J. Richter, Online friction parameter estimation for machine tools, *Advanced Control for Applications: Engineering and Industrial Systems*, vol. 2, 2020.
- [10] N. Nishigami, N. Takesue, R. Makino, K. Kikuchi, K. Fujiwara y H. Fujimoto, ((Compliance Contact Control OF Mecanum Wheeled Mobile Robot For Improving Safety,)) en *Nature-Inspired Mobile Robotics*, pags. 617-624. DOI: 10.1142/9789814525534_0078.
- [11] P. Wolm, X. Chen, J. Chase, W. Pettigrew y C. Hann, Analysis of a PM DC Motor Model for Application in Feedback Design for Electric Powered Mobility Vehicles, en *2008 15th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice*, 2008, pa'gs. 640-645. DOI: 10.1109/MMVIP.2008.4749605.
- [12] N. Tlale y M. de Villiers, Kinematics and Dynamics Modelling of a Mecanum Wheeled Mobile Platform, en *2008 15th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice*, 2008, pa'gs. 657-662. DOI: 10.1109/MMVIP.2008.4749608.
- [13] B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani y G. Oriolo, *Robotics: Modelling, Planning and Control*. Springer- Verlag London, 2009.

Desarrollo de un robot humanoide de cuerpo completo para manipulación de objetos

Development of a full body humanoid robot for object manipulation

*Israel Chaves Arbaiza Investigador, ARCOS-Lab Escuela de Ingeniería Mecánica, UCR
Correo electrónico: israel.chaves@ucr.ac.cr*

*Federico Ruiz Ugalde Investigador, ARCOS-Lab EIE-INII, UCR
Correo electrónico: federico.ruizugalde@ucr.ac.cr*

Palabras clave:

control suave, manipulación de objetos, robótica, robótica colaborativa, robot humanoide.

Keywords:

Soft control, object manipulation, robotics, collaborative robotics, humanoid robot.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, en el campo de la robótica, existen diversos robots con aspectos semejantes a los de un ser humano, capaces de realizar diversas tareas de manipulación. Un ejemplo comúnmente conocido, es el robot PR2, que tal como se puede observar en [1], cuenta con dos brazos, una base móvil y una cabeza, que le permiten desempeñarse en ambientes típicos de las personas; sin embargo, un aspecto que le dificulta ejecutar con éxito tareas complejas, son sus pinzas en lugar de manos, ya que le limitan en gran medida cómo manipula los objetos. Por otro lado, un robot sumamente avanzado es el Rollin' Justin, que tal como se describe en [2], está diseñado principalmente para manipular objetos con ambas manos, siendo uno de los robots más completos hoy en día; sin embargo, debido a la complejidad de su diseño, el costo de su desarrollo es sumamente elevado. Otro ejemplo semejante a nuestro diseño, es el robot TUM-Rosie, que tal como se muestra en [3], cuenta con 2 brazos KUKA LWR, y un Kinect para realizar la percepción del entorno, además de una base omnidireccional. Este robot es el "padre" de nuestro robot y sirvió como base para el desarrollo tanto de nuestro robot como del nuevo robot "Boxy" del Instituto de Inteligencia Artificial (IAI) de la Universidad de Bremen. "Boxy" y nuestro robot se desarrollaron en conjunto en colaboración estrecha entre ambos laboratorios. Comparten varios aspectos, sin embargo, nuestro robot presenta algunas diferencias importantes, que le dan al menos 3 ventajas adicionales que serán explicadas más adelante. Considerando estos robots humanoides, el objetivo de este trabajo, es describir el proceso de diseño y construcción del robot humanoide del ARCOS-Lab, que busca desarrollar un robot con capacidades avanzadas de manipulación para muy diversos escenarios.

II. DESCRIPCIÓN DEL ROBOT

El objetivo principal del diseño del robot humanoide, es darle la capacidad de desempeñar tareas de manipulación con objetos y actividades de la vida cotidiana, con un alto grado de éxito y complejidad. Para ello, se han planteado tres escenarios principales: una cocina doméstica, un ambiente de trabajo colaborativo con personas en un taller con una mesa de trabajo conjunta, y un almacén detallista/ actividades logísticas (Ver Fig. 1). Para que se desempeñe correctamente en estos escenarios, es necesario que este robot posea las siguientes características: 1) seguro con las personas y el ambiente, 2) tenga muy alta destreza manual, 3) disponga de muchos avanzados sensores para realizar percepción, 4) pueda desplazarse en un ambiente plano bajo techo y 5) pueda interactuar con personas.

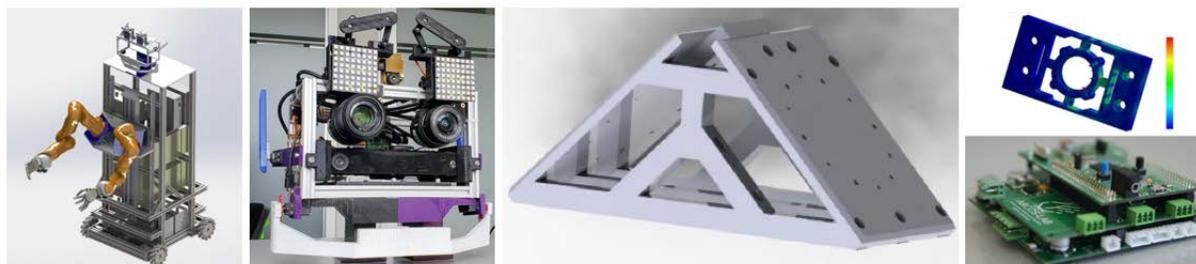
Para cumplir con las dos características más críticas para que este robot pueda desempeñar tareas con personas de manera competente (características 1 y 2), se seleccionaron los componentes más avanzados disponibles en el mercado: los brazos Kuka LWR4+ y las manos robóticas Wessling Robotics. Ambos componentes fueron desarrollados por la agencia aeroespacial alemana y cumplen con ambas características: son seguras puesto que implementan control por impedancia en todas sus articulaciones y además tiene una gran cantidad de articulaciones (7 para cada brazo y 15 para cada mano). Para cumplir con la característica 3, el ARCOS-Lab desarrolló completamente la cabeza multisensorial del robot: dicha cabeza posee 2 cámaras RGB de alta resolución y muy alta sensibilidad (SONY QX1) con dos tipos de lentes para variar las capacidades sensoriales de cada cámara, además tiene una cámara térmica Seek y una cámara de nubes de puntos Kinect2 que le permite la percepción en 3 dimensiones. La cabeza también contiene actuadores para imitar movimientos de mandíbula, orejas y cejas, y dos pantallas para producir imágenes de ojos. Con esto se permite el desarrollo de la característica 5. Finalmente, el ARCOS-Lab también desarrolló una plataforma móvil omnidireccional con previstas para control por impedancia, esto es implementado en conjunto con el proyecto Open-CoRoCo y el desarrollo de un sensor de fuerza-torque para los motores de la plataforma. Con esto, casi todo el cuerpo del robot posee control por impedancia, haciéndolo seguro para la interacción con humanos.



Fig. 1. Escenarios de trabajo del robot.

Una mejora muy importante adicional sobre el cuerpo del robot es el diseño inteligente del montaje de los brazos del robot (hombros). Como se explica con detalle en [4], se utilizan millones de corridas en simulación de la tarea de alcanzar un objeto para determinar cuál sería

el montaje óptimo de los brazos del robot que maximizan la tasa de éxito de realizar dicha tarea. Los resultados de este trabajo fueron utilizados para construir el montaje de los brazos que se puede observar en la Fig. 2c. Otra mejora importante sobre el robot es la prevista para realizar control por impedancia mediante el desarrollo del control de motores OpenCoRoCo y un sensor de fuerza-torque (Ver Fig. 2d).



(a)Ensamble V1.0

(b) Cabeza

(c) Diseño óptimo de hombros

(d) Control Suave

Fig. 2. El robot y algunas de sus partes más especiales.

III. DISCUSIÓN Y TRABAJO FUTURO

Cada una de las partes satélite del robot humanoide (plataforma móvil, sistema de manipulación, torso y cabeza), se encuentra construida y funcional. Esto ha permitido inclusive la realización de experimentos de manipulación con las partes ya colocadas del robot humanoide. Todavía quedan pendientes algunos detalles de ensamble de algunas partes, como el montaje de la cabeza sobre los hombros del robot y actualizaciones finales en algunas partes del robot. Estos trabajos sufrieron importantes retrasos debido a la pandemia COVID19, y actualmente se están ejecutando con la gradualidad que la pandemia ha permitido. Se están realizando todos los esfuerzos posibles por finalizar el ensamble completo para finales del 2021. Una continuación de este trabajo incluirá pruebas sobre el funcionamiento completo del robot y posibles publicaciones independientes para cada parte satélite del robot humanoide.

IV. REFERENCIAS

- [1] W. Meeussen, M. Wise, S. Glaser, S. Chitta, C. McGann, P. Mihelich, E. Marder-Eppstein, M. Muja, V. Eruhimov, T. Foote, J. Hsu, R. B. Rusu, B. Marthi, G. Bradski, K. Konolige, B. Gerkey y E. Berger, <Auto- nomous door opening and plugging in with a personal robot,> *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, págs. 729-736, 2010, ISSN: 10504729. DOI: 10.1109/ROBOT.2010.5509556.
- [2] M. Fuchs, C. Borst, P. R. Giordano, a. Baumann, E. Kraemer, J. Langwald, R. Gruber, N. Seitz, G. Plank, K. Kunze, R. Burger, F. Schmidt, T. Wimboeck y G. Hirzinger, <Rollin' Justin - Design considerations and realization of a mobile platform for a humanoid upper body,> *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, págs. 4131-4137, 2009, ISSN: 10504729. DOI: 10.1109/ROBOT.2009.5152464.

- [3] A. Maldonado, H. Alvarez y M. Beetz, < Improving robot manipulation through fingertip perception,> *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, págs. 2947-2954, 2012, ISSN: 21530858. DOI: 10.1109/IROS.2012.6385560.
- [4] I. Chaves-Arbaiza, D. Garcia-Vaglio y F. Ruiz-Ugalde, < Smart Placement of a Two-Arm Assembly for An Everyday Object Manipulation Humanoid Robot Based on Capability Maps,> 2018 *IEEE International Work Conference on Bioinspired Intelligence, IWOBI 2018 - Proceedings*, 2018. DOI: 10.1109/IWOBI.2018. 8464192.

Métodos de muestreo para la reducción del etiquetado en videos de tránsito

Sampling methods to reduce labeling of footage from transit routes

Javier Herrera

*Escuela de Ciencias de la Computación e Informática, UCR
correo electrónico: javier06herrera@gmail.com*

Jim Zuñiga

Escuela de Ciencias de la Computación e Informática, UCR

Adrián Lara

Escuela de Ciencias de la Computación e Informática, UCR

Luis Quesada

Escuela de Ciencias de la Computación e Informática, UCR

Gabriela Barrantes

Escuela de Ciencias de la Computación e Informática, UCR

Juan José Vargas

Escuela de Ciencias de la Computación e Informática, UCR

Palabras clave:

Métodos de Muestreo, python, tránsito, visión por computador, YOLO.

Keywords:

Sampling Methods, python, transit, computer vision, YOLO.

I. INTRODUCTION

El Centro de Investigaciones en Tecnologías de la Información y Comunicación (CITIC) mantiene un proyecto de investigación que busca utilizar herramientas de aprendizaje mecánico en el análisis de videos de tránsito. Actualmente el centro trabaja con la herramienta de visión por computadora YOLO[1] en su cuarta versión ya que las características y desempeño del mismo se ajustan muy bien a las necesidades del proyecto.

Los videos de tránsito que usualmente se analizan tienen extensas duraciones. Parte de las tareas que se realiza con este material multimedia es el cálculo de la medida de desempeño mAP [2] que requiere un etiquetado manual de *frames*⁶. Es aquí donde surge la pregunta, ¿existe un

⁶ Se trata de una imagen común y que es la unidad básica que compone a un video.

tipo de muestreo que se le pueda aplicar al conjunto de *frames* de tal forma que se obtengan resultados similares a los de etiquetar el censo⁷?

El objetivo de esta investigación es el de ejecutar experimentos automatizados en python para los cuatro tipos de muestreos, además del censo, que surgen de combinar la selección sistemática y aleatoria con las proporciones del 50% y 10%, para así evidenciar si algún muestreo puede sustituir al censo para el etiquetado de frames. Cada uno de los métodos se ejecutará sobre 9 videoclips y se obtendrá un valor de mAP.

II. MÉTODOS

Cada videoclip se desagregó en los 110 *frames* que contenía cada uno. Estos 990 *frames* fueron etiquetados manualmente por los investigadores mediante el uso de la herramienta libre *labelimg*[3]. Dicha herramienta generó un archivo de texto plano por cada *frame* con las coordenadas de los objetos identificados y que se denominarán como “verificaciones” de ahora en adelante.

Posteriormente, *baculum*, el software creado para orquestar el resto de herramientas de forma automática, tomó los mismos 990 *frames* y los envió a procesar por la implementación libre de YOLO para el lenguaje Python [4]. En esta ocasión, se generó un archivo de texto plano por cada *frame* con las coordenadas de los objetos identificados por el algoritmo de visión por computadora, llamados de ahora en adelante como “predicciones”.

A continuación, *baculum* inició la secuencia de experimentos, donde se aplicaron todos los tipos de muestreo a cada uno de los nueve subconjuntos (videoclips) de las predicciones y sus respectivas verificaciones. Esto proporcionó dos tablas de nueve filas y cinco columnas. En la primera tabla, una celda contiene el *mAP* calculado para el videoclip “a” bajo el tipo de muestreo “m”. Para la segunda tabla, una celda contiene el porcentaje de objetos no identificados para el videoclip “a” bajo el tipo de muestreo “m”. Estos valores son calculados por la herramienta *mAPer*[2] y *sniffer*(desarrollada).

Los resultados fueron analizados con herramientas estadísticas. Se utilizó la prueba de *Shapiro-Wilk* [5] para determinar si los datos eran normales. Dado que se descubrió que los datos no eran normales se procedió a utilizar la prueba no paramétrica de *Wilcoxon* [6] y un análisis visual de las distribuciones estadísticas de los datos para estudiar la equivalencia entre los distintos métodos de muestreo y el censo.

III. RESULTADOS

Los valores *mAP* y porcentajes de pérdida de objetos se resumen en los diagramas de caja de la Fig. 1. El análisis visual sobre el diagrama A permite observar que los muestreos con una proporción del 50% de los *frames* presentan valores de *mAP* con rangos intercuartiles y medianas similares a los

⁷ Nombre estadístico que recibe el conjunto total de elementos pertenecientes a una población. En los gráficos se le describe como sys-100.

del censo. Esta proporción también es capaz de captar la mayoría o todos los objetos ya que como evidencia el diagrama B, la pérdida de objetos fue nula.

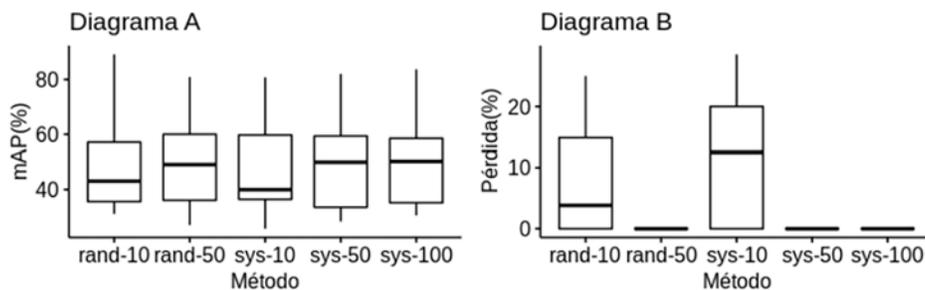


Fig. 1. Diagramas de caja para los valores mAP y pérdida de los diversos muestreos.

Se realizó la prueba de Shapiro-Wilk para conocer la normalidad de los datos. Se obtuvo un valor $p_{value} = 8,31110^{-4}$ que permite rechazar la hipótesis nula, por lo que los datos no son normales. Las pruebas de Wilcoxon arrojaron un $p_{value} = 0,05$ para todas las comparaciones entre el censo y los distintos tipos de muestreo, por lo que al final no se puede justificar que haya una diferencia estadística significativa entre alguno de los métodos y el censo. La figura 2 introduce dudas sobre la equivalencia entre los métodos con proporción del 10% y el censo. Esta figura también permite notar una ligera ventaja de los métodos sistemáticos frente a los aleatorios en cuanto a distribución y media.

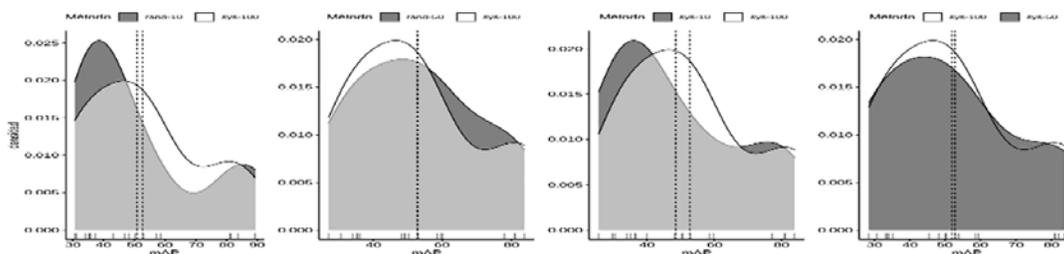


Fig. 2. Distribuciones de los valores mAP de cada muestreo.

La evidencia anterior sugiere que entre las proporciones del 10% y 50% de los métodos sistemáticos existe alguna proporción que brinde resultados parecidos al sistemático del 50%, pero evidentemente con una menor cantidad de frames que etiquetar. Dado que todos los métodos anteriores son automáticos, se realizó la misma experimentación para las 39 proporciones enteras contenidas en el rango mencionado anteriormente. Con esto se logró identificar el método sistemático del 29% como el de menor proporción con el mismo desempeño cualitativo que el sistemático del 50%, según se visualiza en la Fig. 3. La prueba de Wilcoxon resultó con un $p_{value} = 1$, lo cual indica que este método de muestreo si puede reemplazar al censo en el proceso de etiquetado.

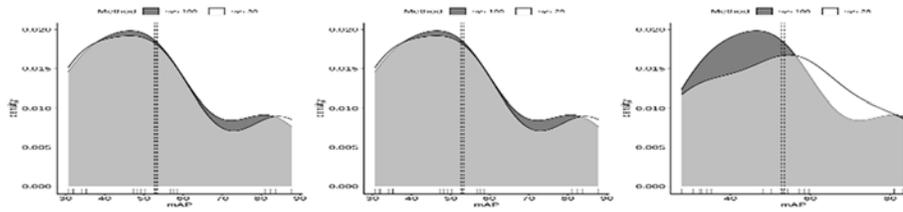


Fig. 3. Punto de cambio den la distribución de los métodos sistemáticos.

VI. REFERENCIAS

- [1] J. Redmon. “YOLO: Real-Time Object Detection”. <https://pjreddie.com/darknet/yolo/> (accesado en Sep. 11, 2021).
- [2] J. Cartucho, R. Ventura y M. Veloso. “Robust Object Recognition Through Symbiotic Deep Learning In Mobile Robots” presentado en la International Conference on Intelligent Robots and Systems, España, Oct, 1-5, 2018. Disponible en: <https://github.com/Cartucho/mAP>
- [3] D. Tzatalin, “LabelImg”. <https://github.com/tzatalin/labelImg> (accesado en Sep. 11, 2021).
- [4] A. Bochkovskiy, C. Wang y H. Mark. “YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection”, Cornell University, Abr, 2020. [en línea]. Disponible en: <https://arxiv.org/abs/2004.10934>
- [5] P. Flores, L. Muñoz y T. Sánchez, “Estudio de potencia de pruebas de normalidad usando distribuciones desconocidas con distintos niveles de no normalidad”, Perfiles, vol. 1, no. 21, pp 6-7, Enero, 2019. [en línea]. Disponible en: <http://ceaa.esPOCH.edu.ec:8080/revista.perfiles/Articulos/Perfiles21Art1.pdf>
- [6] J. Amat. “Test de Wilcoxon Mann Whitney como alternativa al t-test”. cienciadedatos.net. https://www.cienciadedatos.net/documentos/17_mann%E2%80%93whitney_u_test (accesado en Sep, 11, 2021).

Detección de emociones en señales de habla utilizando Inteligencia Artificial

Emotion recognition through speech signals using Artificial Intelligence

Daniel Vargas Díaz

*Estudiante, Escuela de Ingeniería Eléctrica, UCR
correo electrónico: daniel.vargasdiaz@ucr.ac.cr*

Camilo Rojas

*Investigador Asociado MIT Media Lab Fluid Interfaces
MIT Media Lab*

Palabras clave:

Arousal, Artificial Intelligence, Reconocimiento de emociones, Respiración, Señales del habla, Valence.

Keywords:

Arousal, Artificial intelligence, Breathing, Emotion recognition, Speech signals, Valence.

I. INTRODUCCIÓN

La pandemia causada por el coronavirus COVID-19 ha causado cambios en la dinámica de la población mundial, lo cual ha afectado la interacción social y la forma en que nos comunicamos. Este cambio ha traído como consecuencia un aumento en los niveles de depresión y soledad, con lo cual las personas han buscado nuevas formas, más saludables, de comunicarse entre ellos usando tecnología [1]. La mediación tecnológica usando solo audio es común en interacciones tales como las clases virtuales, y los asistentes virtuales. Este tipo de comunicación ha hecho que se pierda información que se reconocía en interacciones cara a cara. Ante esta situación, ha crecido el interés por desarrollar sistemas de reconocimiento de emociones utilizando distintas señales, entre ellas las señales del habla y la respiración.

Si se combinan técnicas de procesamiento de señales e Inteligencia Artificial [2], junto a un dataset de emociones como RECOLA [3] es posible construir un algoritmo que sea capaz la cantidad de energía (Arousal) y que tan placentera es la emoción experimentada (Valence) [4], dando pie así a un sistema de reconocimiento de emociones [5] que puede usarse para entender mejor al usuario.

Complementario a este sistema se diseñó un algoritmo para medir la respiración del usuario utilizando una señal de alta frecuencia diseñada para el proyecto Saving Face, [6] del cual tuve la oportunidad de participar. El desarrollo del siguiente proyecto que es una colaboración entre el estudiante Daniel Vargas y el Investigador Asociado Camilo Rojas perteneciente al MIT Media Lab, con el objetivo de mejorar la plataforma ProjectUs [7].

II. MÉTODOS

Para diseñar el algoritmo de Deep Learning se utilizó como base una red neuronal del tipo Deep Learning. Para alimentar la red primeramente se realiza un preprocesamiento de señales, donde se remuestrea la señal a 16 KHz para partirla en pequeñas ventanas de 6 segundos, adicionalmente se ajusta la varianza y el promedio de la señal a cero.

Se construyó una red neuronal con 14 capas, usando de inspiración el trabajo de [4] para diseñar dichos parámetros de la red. En este caso la red contiene capas convolucionales para extraer las features de la señal de audio, de igual manera tiene capas que permiten cambiar las dimensiones de la señal. Una vez que la red extrae los features por sí misma procede a utilizar dos capas Bidireccionales de Redes Neuronales Recurrente con 128 celdas cada una, de esta forma se entrenan los pesos correspondientes que permiten clasificar los valores de Arousal y Valence en la señal. En el Cuadro I se muestra los Hiperparámetros que se utilizaron en la red.

El objetivo de la evaluación del modelo consistió en modificar algunos de los Hiperparámetros del Cuadro I de forma que se pueda encontrar la configuración que de mejores resultados.

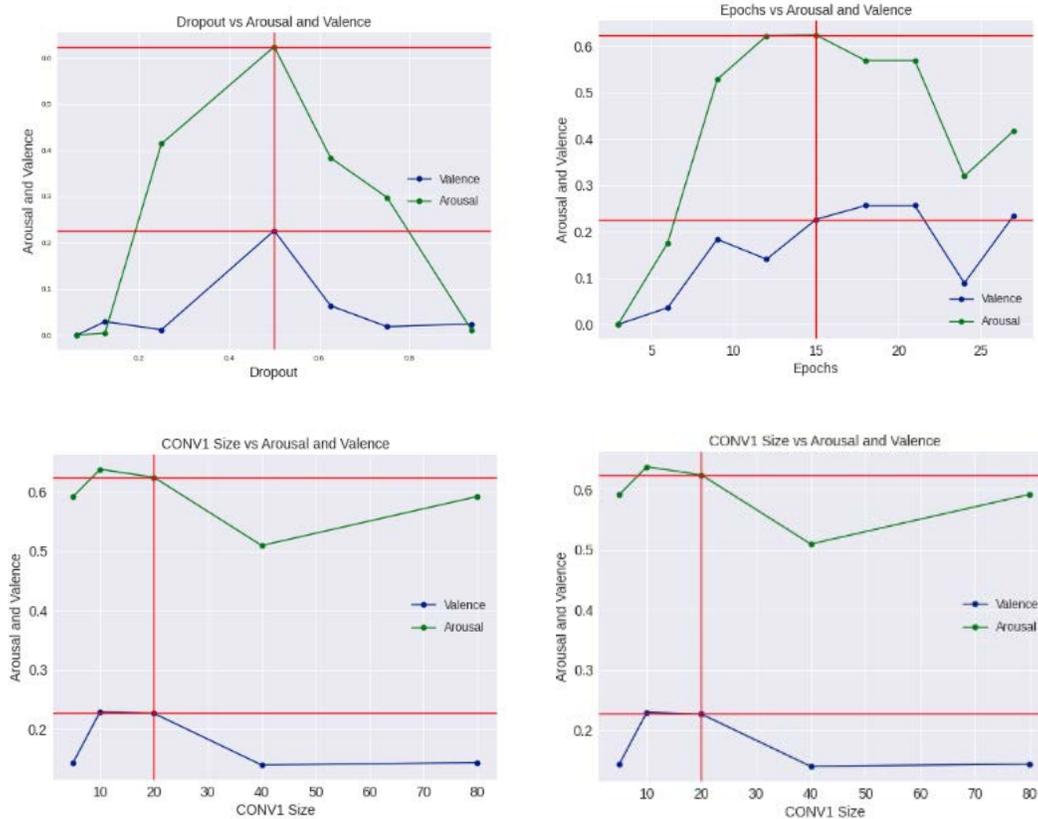
$$\rho_c = \frac{2\rho_x \sigma_y}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + (\mu_x - \mu_y)^2} \quad (1)$$

CUADRO I
HIPERPARÁMETROS DEL MODELO IMPLEMENTADO [4]

Hiperparámetro	Valor base	Descripción
Dropout Rate	0,5	Porcentaje de los pesos que se apagan en cada iteración
Epochs	15	Cantidad de veces que el algoritmo recorre el training dataset en el entrenamiento
Capa Convolutiva 1	20 unidades por filtro	40 filtros de 5 ms
Capa Convolutiva 2	40 unidades por filtro	40 filtros de 500 ms
Capa LSTM 1	128 celdas	Segmenta las secuencias de 6s en 150 muestras para ajustarse a la frecuencia de 40 ms
Capa LSTM 2	128 celdas	
Número de features	640	Cantidad de features que se esperan obtener después de cada capa de dropout o pooling

En el caso del algoritmo para detectar la respiración del usuario se diseñó una señal FMCW de alta frecuencia la cual es reproducida por la computadora, y utilizando un total de 80 features extraídas de la señal, 40 extraídas del área bajo la curva y 40 referentes a la transformada de Fourier, todas estas fueron las mismas utilizadas en el algoritmo de Saving Face [6]. La señal de alta frecuencia es grabada por la computadora y procesada por distintas técnicas de procesamiento de señales para poder extraer dichas características.

III. EVALUACIÓN DEL MODELO DE DEEP LEARNING



(a) Dropout vs Arousal-Valence / (b) Epochs vs Arousal-Valence / (c) CONV Size vs Arousal-Valence / (d) RNN Size vs Arousal-Valence.

Fig. 1. Resultados de modificar los hiperparámetros.

CUADRO II

MEJORES RESULTADOS OBTENIDO DEL ALGORITMO DE DEEP LEARNING.

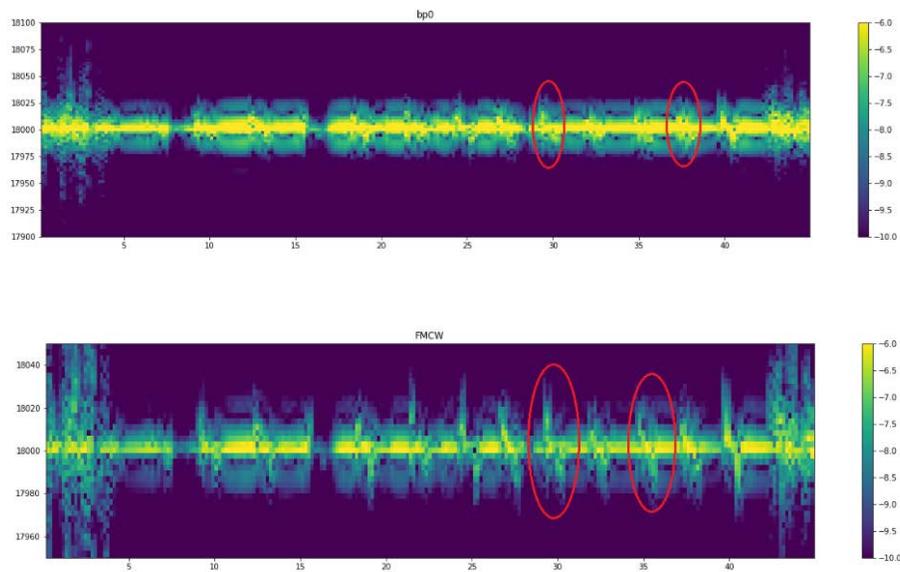
Epochs	Dropout rate	T. CONV1	T. CONV2	T. DE BIDIRECTIONAL 0 Y 1	Arousal (CCC)	Valence (CCC)
15	0,5	40 filtros de tamaño 20	40 filtros de tamaño 40	1024	0,5263	0,4610
15	0,5	40 filtros de tamaño 20	40 filtros de tamaño 40	256	0,6654	0,2089
Estado del arte [4]					0,6880	0,2610

IV. EVALUACIÓN DEL MODELO PARA RECONOCER RESPIRACIÓN

Para este modelo se extrajeron características de dos tipos de señales. La primera es la variación causada por el efecto Doppler, pues los movimientos del diafragma distorsionan la señal, y la otra es el espectrograma

de la señal FMCW que se refleja en el cuerpo humano [6]. Ambas son producto de los movimientos en el abdomen de las personas.

En la figura 2 se muestran ambas señales al analizar un archivo de audio de nuestro sistema donde el usuario respiraba en un ambiente silencioso, y la señal recogida por el micrófono que procesamos nos da como resultado ambos gráficos donde se ven los picos de Doppler (imagen superior) y cambios en la frecuencia del espectrograma (imagen inferior) cuando el usuario respira, demostrando que nuestro sistema solo requiere construir un algoritmo de detección de picos que nos permita medir el ritmo de respiración del usuario.



(a) Cambio en la señal analizando Doppler (bp1) / (b) Cambios en la frecuencia de la señal FMCW

Fig. 2. Resultados de sistema de reconocimiento de respiración.

V. REFERENCIAS

- [1] R. Nowland, E. A. Necka, y J. T. Cacioppo, “Loneliness and Social Internet Use: Pathways to Reconnection in a Digital World?”, *Perspect. Psychol. Sci.*, vol. 13, núm. 1, pp. 70–87, sep. 2017.
- [2] R. A. Khalil, E. Jones, M. I. Babar, T. Jan, M. H. Zafar, y T. Alhussain, “Speech Emotion Recognition Using Deep Learning Techniques: A Review”, *IEEE Access*, vol. 7, pp. 117327–117345, 2019.
- [3] F. Ringeval, A. Sonderegger, J. Sauer, y D. Lalanne, “Introducing the RECOLA multimodal corpus of remote collaborative and affective interactions”, en *2013 10th IEEE International Conference and Workshops on Automatic Face and Gesture Recognition (FG)*, 2013, pp. 1–8.
- [4] G. Trigeorgis et al., “Adieu features? End-to-end speech emotion recognition using a deep convolutional recurrent network”, en *2016 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 2016, pp. 5200–5204.
- [5] M. Swain, A. Routray, y P. Kabisatpathy, “Databases, features and classifiers for speech emotion recognition: a review”, *Int. J. Speech Technol.*, vol. 21, núm. 1, pp. 93–120, 2018.
- [6] C. Rojas et al., “A Scalable Solution for Signaling Face Touches to Reduce the Spread of Surface-based Pathogens”, *Proc. ACM Interactive, Mobile, Wearable Ubiquitous Technol.*, vol. 5, núm. 1, pp. 1–22, 2021.

- [7] C. Rojas, M. Corral, N. Poulsen, y P. Maes, “Project Us: A Wearable for Enhancing Empathy”, en *Companion Publication of the 2020 ACM Designing Interactive Systems Conference*, 2020, pp. 139–144.

Implementación de un clasificador de señales de potencial de campo local utilizando redes neuronales

Implementation of a local field potential signal's classifier using neural networks

José Pablo Ávila López

Estudiante, Escuela de Ingeniería Eléctrica, UCR

correo electrónico: jose.avilalopez@ucr.ac.cr

Luis Alfonso Castro Leiva

Ingeniero, Departamento de Neuromodulación, Boston Scientific

Esteban Alonso Ortiz Cubero

Profesor, Escuela de Ingeniería Eléctrica, UCR

Palabras clave:

Actividad cerebral, extracción de características, inteligencia artificial, potencial de campo local, red neuronal.

Keywords:

Artificial intelligence, brain activity, features extraction, LFP, neural network.

I. INTRODUCCIÓN

Recientemente el interés por aprender a extraer información del cerebro mediante adquisición de potenciales de campo local (LFPs) ha incrementado en la industria de dispositivos médicos [1] y en la creación de interfaces cerebro-máquina [2]. Las señales de LFP corresponden a la actividad conjunta de un grupo de neuronas [3]. Se han propuesto diferentes metodologías para extraer características de señales de LFP y utilizarlas en diversas aplicaciones. Por ejemplo, reconocer eventos como movimientos voluntarios de dedos [1]. Sin embargo, aún no se ha determinado cuáles características de los LFPs (amplitud, fase, frecuencia, correlación) reflejan adecuadamente la actividad neuronal para obtener información a partir de ellas [2].

La investigación de [4] proporciona un banco de datos de señales de LFPs obtenidos del hipocampo de ratas a 1025Hz mediante 99 electrodos mientras estos sujetos eran incentivados con alimentos a desplazarse dentro de un espacio. Estos datos además contienen la posición adquiridos a 39.06Hz correspondientes a dos LEDs colocados en la cabeza de los animales que se utilizaron para monitorear la posición y orientación de los mismos. Lo anterior debido a que en el hipocampo se encuentra un tipo de neuronas conocidas como “células de dirección de la cabeza” las cuales se activan cuando la cabeza del animal se dirige a la dirección de preferencia que ellas tienen [5].

Esta investigación propone dos estrategias de extracción de características de las señales de LFPs del banco anteriormente mencionado que se usan como entrada a tres tipos de redes neuronales para evaluar si es posible predecir el ángulo al cuál se dirige la cabeza de una rata con base en la actividad de células de dirección de la cabeza.

II. MÉTODOS

Para sincronizar los datos de LFPs y los ángulos se propusieron 2 métodos:

- Diezmar las señales de LFPs utilizando filtro anti-aliasing Chebyshev de orden 8 hasta alcanzar aproximadamente la frecuencia de los ángulos.
- La otra alternativa utilizada fue rellenar los ángulos e interpolar las muestras agregadas utilizando una interpolación lineal alrededor del ángulo más corto (ecuaciones 1 y 2). Lo anterior considerando que los animales pueden rotar la cabeza cruzando por 0° .

$$S = ((x_1 - x_0 + 180) \bmod 360) - 180 \quad (1)$$

$$x_2 = (x_0 + S \cdot t) \bmod 360 \quad (2)$$

Una vez sincronizados los datos se limpian de muestras inválidas donde hubo obstrucción de los LEDs de posición y se dividen los datos en subconjuntos limpios y continuos de muestras de los 99 canales y los ángulos asociados a cada instante de tiempo.

Ventanas de tiempo con distintas muestras continuas de las señales de voltaje de uno de los 99 canales de adquisición del banco de datos de [4] se usaron como las características de entrada a las redes neuronales. Mientras que de las posiciones de los dos LEDs en la cabeza de la rata se extrae el ángulo (entre 0 y 360 grados) al que se dirige la cabeza del animal y se utilizan como las etiquetas con las que se entrenarían las redes neuronales.

Para la predicción se evalúan 3 tipos de redes neuronales:

- Un perceptrón multi-capas (MLP) de 3 capas escondidas con activación ReLU y 32 nodos por capas.
- Una red neuronal convolucional (CNN) con una capa convolucional de una dimensión con 32 filtros que entran a una capa densamente conectada de también 32 nodos.
- Una red recurrente con una capa del tipo *Long Short-Term Memory (LSTM)* [6] de 32 nodos.

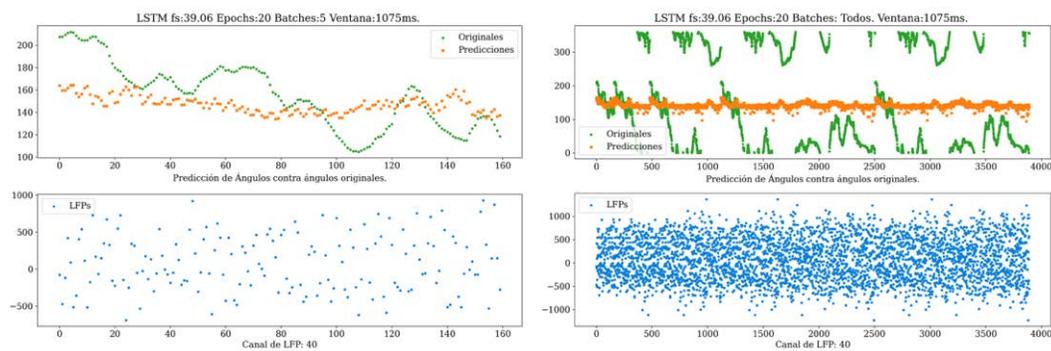
Todas las redes se utilizaron con una regularización por *dropout* de 0.2%. Además, todas poseen una capa final con un único nodo con activación lineal que proporcione el ángulo predicho.

III. RESULTADOS DE PREDICCIÓN DE LA DIRECCIÓN DE LA CABEZA

La Fig. 1 muestra el mejor resultado obtenido entre las combinaciones de métodos de sincronización, red neuronal y demás hiperparámetros utilizados en el entrenamiento de los algoritmos de predicción de los ángulos. Estos corresponden al entrenamiento una red LSTM con datos diezmados durante 20 épocas. Se obtiene un error medio absoluto de 82.43° en el conjunto de datos de entrenamiento y 78.91° en el conjunto de validación.

Aunque en la Fig. 1a las predicciones de los ángulos son cercanas a los valores esperados, en la Fig. 1b se aprecia que las predicciones realizan pocos ajustes ante variaciones en los ángulos reales en periodos de tiempo más extendidos.

Al predecir con una red LSTM pero con datos interpolados por el ángulo más corto se obtuvo un error en el entrenamiento de 70.14° y en la validación de 78.70° . Los datos diezmados son elegidos por encima de los datos interpolados a pesar de que presentaron resultados similares en términos de error, ya que el primer método fue entrenado en ~ 2 min mientras que los datos interpolados tardaron ~ 1 h y 15min.



(a) 5 segundos de datos de prueba.

(b) Total de datos de prueba.

Fig 1. Predicción de ángulos (naranja), contra ángulos esperados (verde) utilizando señales LFPs (azul) diezmadas en una red LSTM.

En cuanto a la red clásica (MLP), el mejor resultado fue de igual forma con datos diezmados con 85.7° de error en el entrenamiento y en la validación de 85.92° . Mientras que el mejor error obtenido con la CNN fue al cabo de 10 épocas con datos diezmados con 85.44° de error en el entrenamiento y 81.33° en los datos de validación.

Se concluye que con los métodos utilizados no es posible obtener un error aceptable en la predicción de los ángulos con señales de potenciales de campo local. Sin embargo, se demuestra que utilizar datos sincronizados a 39.06Hz proporciona incluso un mejor resultado que con datos interpolados, lo cual es conveniente pues permite entrenar en mucho menos tiempo las redes neuronales.

Adicionalmente se recomienda continuar utilizando redes que aprovechen la localidad temporal de los datos como las redes LSTM u otros tipos de redes recurrentes.

Para futuras investigaciones se aconseja explorar otros métodos de extracción de características, por ejemplo, la separación de las señales de LFPs en distintas bandas de frecuencia y considerar no

solo la amplitud, sino además la fase de las muestras. A pesar de que el presente trabajo indica que el canal y sesión de grabación no influye en la precisión de las predicciones, se motiva a utilizar datos de múltiples electrodos como features de entrada a las redes neuronales.

IV. REFERENCIAS

- [1] K. Mizuseki, G. Buzsaki, K. Diba, E. Pastalkova, J. Teeters y A. Sirota, «Neurosharing: large-scale data sets (spike, LFP) recorded from the hippocampal-entorhinal system in behaving rats,» vol. 3, n° 98, 2014. DOI: 10.12688/f1000research.3895.2.
- [2] J. Taube, «Head direction cells,» *Scholarpedia*, vol. 4, n° 12, p. 1787, 2009. DOI: 10.4249/scholarpedia.1787
- [3] S. Gibson, J. Judy y D. Markovic, «Spike Sorting: The First Step in Decoding the Brain: The first step in decoding the brain,» *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 29, no.1, pp. 124-143, Jan. 2012, DOI: 10.1109/MSP.2011.941880.
- [4] M. Islam, K. Mamun y H. Deng, «Decoding of Human Movements Based on Deep Brain Local Field Potentials Using Ensemble Neural Networks,» *Hindawi, Computational Intelligence and Neuroscience*, 2017. DOI: 10.1155/2017/5151895.
- [5] A. Jackson y T. M. Hall, «Decoding local field potentials for neural interfaces,» *IEEE Dataport*, 2017. DOI: 10.21227/H2VW5Z.
- [6] I. Vasilev, D. Slater, G. Spacagna, P. Roelants y V. Zocca, de *Python Deep Learning*, Packt Publishing Ltd., 2019, cap 7, ISBN: 978-1-78934-846-0.

Lineamientos para crear herramientas que permitan a los niños de preescolar programar robots

Guidelines for creating tools that allow children in the early childhood to program robots

JKryscia Ramírez-Benavides

*Investigadora, Escuela de Ciencias de la Computación e Informática, UCR
correo electrónico: kryscia.ramirez@ucr.ac.cr*

Palabras clave:

Diseño, Guía de lineamientos, Herramientas de programación, Niños de edad preescolar, Robots, Usabilidad.

Keywords:

Design, Guidelines, Programming tools, Early childhood, Robots, Usability.

I. INTRODUCCIÓN

Al diseñar una aplicación orientada a niños, se enfrenta un importante reto, ya que los niños son una población con habilidades, preferencias y necesidades diferentes al “usuario medio”, y estas van cambiando conforme el niño crece. A este hecho hay que sumarle que, en esta etapa de la vida, las diferencias de género en la relación, uso y consumo de las nuevas tecnologías son mayores que nunca [1].

Por tanto, debemos tener en cuenta que los niños representan un tipo de audiencia heterogénea, para los que no existe una receta única de diseño. De este modo, el diseño de aplicaciones a este tipo de audiencia requiere de la adopción y la adaptación metodológica necesaria para asegurar su usabilidad [1].

En uno de esos estudios se muestran algunas diferencias entre niños y adultos al usar sitios web, las cuales dan pistas para saber cómo diseñar juegos para niños [2]:

- Los sonidos y las animaciones son apreciados de forma positiva por los niños. Factores emocionales como la diversión juegan un papel crucial en el diseño de sitios web usables para niños, motivándolos en la interacción y en la consecución de objetivos.
- Los niños suelen recorrer la pantalla con el ratón. Lo hacen para ver qué zonas están disponibles para hacer clic o simplemente para disfrutar de los efectos de sonido que reproducen los diferentes elementos de la interfaz al pasar el ratón por ellos.
- Las metáforas funcionan. El objetivo del uso de metáforas en el diseño es hacer familiar y comprensible lo desconocido. Además, el uso de metáforas visuales (ya sean geográficas o

de otro tipo) es una acertada decisión de diseño para niños, ya que estos presentan menos conocimiento, habilidad y capacidad para la lectura.

- Los niños no suelen usar la barra de desplazamiento. Este hecho, que en un principio también se daba en usuarios adultos, es posible que cambie con el tiempo (por los mouses con rueda de *scroll*), aunque por el momento sugiere que en un diseño orientado a niños funcionarán mejor las páginas cortas.
- Los niños tienden a leer las instrucciones de uso. Aun así, cualquier sección de ayuda debería ser redactada de la forma más sintética posible, sin palabras complicadas ni tecnicismos.

Nielsen concluye en su estudio que los niños quieren buenas gráficas, facilidad de navegación, animación, interacción, narrativa amigable y entretenimiento. Además, si se quiere diseñar aplicaciones para aprendizaje, estas deben ser educativas y divertidas. Por otro lado, la documentación o la ayuda debe ser ilustrada (fotos o dibujos) y escrita especialmente para la audiencia meta.

El objetivo de este trabajo, el cual es uno de los resultados de mi investigación doctoral [11], es describir los lineamientos para la creación de dos herramientas móviles de asistencia a la programación que permiten a los niños en la primera infancia desarrollar programas y ejecutarlos utilizando robots. Las herramientas se denominan TITIBOTS y TITIBOTS Colab. La segunda herramienta incorpora la colaboración. Las herramientas tienen interfaces basadas en iconos e integran programación visual, robótica y dispositivos móviles en una sola herramienta.

II. MÉTODOS

Con base en las conclusiones del estudio de Nielsen, los principios y heurísticas generales de HCI [3], los estudios de varios autores [4]–[10] y los resultados que se obtuvieron en las diferentes evaluaciones llevadas a cabo en esta investigación, se creó una guía de los lineamientos pertinentes a la investigación obtenidos de este proceso.

Asimismo, se utilizó el proceso de Diseño Centrado en el Usuario (DCU) como la metodología de trabajo, utilizando el estándar ISO 13407 [12].

III. RESULTADOS

La guía de lineamientos se muestra de forma clasificada (las categorías de la clasificación fueron tomadas de Sesame Workshop) en [11, pp. 154–171]. En este estudio se muestra un diagrama por cada una de las categorías de lineamientos generados, en cada diagrama se establece la relación entre la literatura consultada y las evaluaciones de la investigación de donde se obtuvieron los lineamientos de cada categoría. Entre los principales lineamientos definidos en esta guía se tienen:

1. La elección de un personaje para construir una buena relación entre los niños y la aplicación
2. El diseño gráfico de las interfaces debe ser agradable y entretenido para los niños, pero se debe minimizar su carga gráfica para eliminar distracciones visuales.

3. Los cierres visuales ayudan a centrar la atención de los niños en los elementos relevantes de la aplicación.
4. La terminología de las interfaces de usuario debe basarse en el lenguaje del niño, ser una narrativa amigable, y se debe usar palabras familiares para los niños.
5. El uso de íconos consistentes y representativos que sigan la convención estándar.

Los resultados fueron prometedores, a los niños les gustaron las aplicaciones y estaban dispuestos a seguir usándolas para programar robots para resolver tareas específicas. Permitiendo a los niños de la primera infancia crear programas usando tabletas y ejecutarlos con el robot, lo que promueve el desarrollo del pensamiento computacional desde una edad temprana a través de la programación de robots.

Finalmente, las contribuciones de esta investigación prometen tener un gran impacto en la creación y la mejora de la usabilidad en herramientas para el aprendizaje de la programación de niños de preescolar. Esperando que esta investigación inspire a los futuros desarrolladores a crear más aplicaciones móviles colaborativas y educativas para el beneficio de los niños de la primera infancia.

IV. REFERENCIAS

- [1] Y. Hassan Montero, "Diseño web orientado a niños," No Solo Usabilidad, Sep. 2004.
- [2] J. Nielsen, "Kids' Corner: Website Usability for Children," Alertbox, 2002. <https://www.nngroup.com/articles/childrens-websites-usability-issues/> (accessed Jan. 26, 2015).
- [3] J. Nielsen, "Heuristic evaluation: How to Conduct a Heuristic Evaluation," in Usability Inspection Methods, J. Nielsen and R. L. Mack, Eds. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 1994.
- [4] J. Díaz, I. Harari, and A. P. Amadeo, Guía de Recomendaciones para Diseño de Software Centrado en el Usuario, 1st ed. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 2013.
- [5] J. F. Pane, "A programming system for children that is designed for usability," Carnegie Mellon University, 2002.
- [6] M. Resnick, "Technologies for Lifelong Kindergarten," Educ. Technol. Res. Dev., vol. 46, no. 4, pp. 1–18, 1998, [Online]. Available: <http://web.media.mit.edu/~mres/papers/lifelongk/lifelongk.pdf>.
- [7] Sesame Workshop, "Best Practices: Designing Touch Tablet Experiences for Preschoolers." p. 17, 2012, [Online]. Available: http://www.sesameworkshop.org/wp_install/wp-content/uploads/2013/04/Best-Practices-Documents-11-26-12.pdf.
- [8] M. O. Leavitt and B. Shneiderman, Research-Based Web Design & Usability Guidelines, 1st ed. Wa: U.S. Government Printing Office, 2013.
- [9] C. L. Chau, "Positive Technological Development for Young Children in the Context of Children's Mobile Apps," Tufts University, 2014.
- [10] S. Chaudron, Young Children (0-8) and digital technology: A qualitative exploratory study across seven countries. Publications Office of the European Union, 2015.
- [11] K. Ramírez-Benavides, "Creación de una herramienta colaborativa para el aprendizaje de la programación que incentive la colaboración en niños con edades comprendidas entre 4 y 6 años," Universidad de Costa Rica, San José, 2016.

- [12] International Organization for Standardization, “ISO 13407:1999 Human-centred design processes for interactive systems,” 1999.

Analizador de flujo de gases de bajo costo tipo Venturi para ventiladores mecánicos

Low-cost Venturi type gas flow analyzer for mechanical ventilators

Fernando José Andrés Monge

Profesor interino, Escuela de Ingeniería Mecánica, UCR

correo electrónico fernando.andresmonge@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Flujo, impresión 3D, metrología, ventiladores, Venturi.

Keywords:

Words: 3D printing, flow, metrology, ventilators, Venturi.

I. INTRODUCCIÓN

El control metrológico en equipamiento médico es un tema de relevancia para el correcto diagnóstico y tratamiento de los usuarios de los sistemas de salud. A nivel nacional, existen algunos reglamentos técnicos que definen los lineamientos para las verificaciones iniciales y subsecuentes para instrumentos básicos de diagnóstico en el sector médico (esfigmomanómetros y termómetros clínicos), sin embargo, la precisión de los controles suele ser ignorada para equipos más complejos [1]. Los ventiladores mecánicos son un ejemplo de equipamiento médico en el cual las verificaciones metrológicas son necesarias como aseguramiento de la validez de sus controles y mediciones [2]. En general, a nivel comercial existen instrumentos de medida que se utilizan como patrones para la verificación de ventiladores mecánicos. Estos equipos, conocidos como analizadores de flujo de gases, suelen ser costosos (por encima de los 2000 USD) y no se encuentran disponibles con facilidad hasta donde el autor conoce. Es por esto que se decidió plantear la posibilidad de desarrollar un analizador de flujo de gases de bajo costo que determine el flujo por medio de la medición de una presión diferencial en un elemento Venturi.

De acuerdo con la norma ISO 5167-4:2003, los medidores de flujo tipo Venturi están normados para ser utilizados en mediciones de flujo para tuberías entre los 50 mm y los 1200 mm para números de Reynolds mayores a 2×10^5 [3]. El prototipo planteado en este proyecto se diseñó para la medición de flujo fuera del alcance de la norma, para un diámetro mayor de 25 mm con números de Reynolds por debajo de $2,5 \times 10^4$. El presente trabajo expone los avances en la propuesta del prototipo, su diseño, pruebas y resultados preliminares, así como los resultados esperados. El desarrollo se está llevando a cabo dentro del Laboratorio Costarricense de Metrología como parte de las actividades enmarcadas dentro del proyecto regional del Sistema Interamericano de

Metrología *Development of Basic Metrology Infrastructure to Support Medical Testing Equipment (Ventilators)* con el apoyo del Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) de Alemania.

II. MÉTODOS

Se optó por desarrollar un elemento Venturi primero porque la determinación del flujo se realiza por medio de la medición de una presión diferencial y segundo por su baja caída de presión entre la entrada y la salida del flujo en comparación con otras técnicas de medición de flujo por presión diferencial (placas de orificio) [4]. El diseño del Venturi se basó en las proporciones dimensionales establecidas en la norma ISO 5167-4:2003. Los principales parámetros de diseño fueron el diámetro mayor D del Venturi y la relación β entre diámetros [3]. Se evaluaron varios diseños teóricos donde se seleccionó el diferencial de presión esperado en el Venturi como criterio de decisión. Se optó por construir un Venturi de diámetro mayor de 25 mm y relación β de 0,4. Cabe mencionar que este proceso de selección puede repetirse en caso de que los resultados indiquen que se requiera mejorar el desempeño del elemento Venturi.

En cuanto a la confección del Venturi, se realizó un modelo 3D en CAD y se fabricó por medio de impresión 3D. El material del prototipo es PLA y se imprimió en 2 piezas las cuales se unieron por medio de pegamento. El diseño incluyó 3 puertos de medición de la presión (a la entrada, en la garganta y a la salida) con el fin de medir la presión diferencial y la caída de presión a lo largo del Venturi. En los extremos del prototipo se incluyeron bridas de tipo KF25 por su facilidad de conexión y disponibilidad de accesorios para la instalación en la línea del banco de pruebas.

La instrumentación del prototipo consiste en un sensor de presión diferencial conectado a una placa programable Arduino UNO. Para la caracterización del prototipo desarrollado, se conectó el Venturi a un banco de pruebas. El sistema consiste en tres elementos de flujo laminar (patrones de medida) los cuales se conectan aguas arriba del equipo a probar por medio de tuberías rectas que permitan que el flujo se desarrolle completamente. El flujo que circula por las tuberías es generado por un suministro de aire comprimido y controlado por medio de dos controladores de flujo másico para los flujos desde 0,1 L/min hasta 30 L/min según corresponda y un aspirador con una válvula de estrangulamiento manual para los flujos desde 30 L/min hasta 200 L/min. El banco de pruebas cuenta con un sistema de adquisición de datos basado en LabVIEW. La salida analógica del Arduino se enlaza a dicho sistema de adquisición de datos. Se realizarán las pruebas que permitan definir la repetibilidad del prototipo, su sensibilidad y el desempeño del prototipo bajo distintas condiciones de temperatura, de forma que se pueda establecer la incertidumbre de medida total del prototipo.

III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos hasta el momento demuestran que la presión diferencial es bastante pequeña para valores bajos del flujo nominal; 30 Pa para un flujo de 30 L/min; y crece hasta más de 1400 Pa para un flujo nominal de 200 L/min. Esto es una limitante a la hora de seleccionar el sensor de presión apropiado que acompañe el Venturi, ya que el intervalo de medición es amplio, lo cual

compromete la exactitud del instrumento en el rango bajo del flujo (por debajo de 30 L/min), donde la presión se encuentra por debajo del 10% de la escala total.

El resultado general esperado es que el prototipo tenga una exactitud comparable con los equipos comerciales, por debajo del 2% de la lectura entre 1 L/min y 200 L/min a un menor costo. Se espera caracterizar el valor del coeficiente de descarga del Venturi, constante o variable para todo el ámbito de medición [5], de forma que se pueda independizar el desempeño del diseño del Venturi del desempeño del sensor de presión asociado. Finalmente, el prototipo debe ser portátil por lo tanto es deseable que se pueda miniaturizar al máximo el sistema de medición y adquisición de datos, por medio de una computadora de placa reducida tipo Raspberry Pi.

IV. REFERENCIAS

- [1] E. Batista, M. Ferreira, and I. Godinho, "Improving measurements in metrology for health," *OIML Bull.*, vol. LIX, no. Number 3, 2018.
- [2] International Organization for Standardization (ISO), "ISO 80601-2-12:2020 Medical electrical equipment — Part 2-12: Particular requirements for basic safety and essential performance of critical care ventilators," 2020.
- [3] International Organization for Standardization (ISO), "ISO 5167-4:2003 Measurement of fluid flow by means of pressure differential, devices inserted in circular cross section conduits running full. Part 4: Venturi Tubes," 2003.
- [4] R. C. Baker, *Flow Measurement Handbook: Industrial Designs, Operating Principles, Performance, and Applications*, Second Edi. Cambridge University Press, 2016.
- [5] C. L. Hollingshead, M. C. Johnson, S. L. Barfuss, and R. E. Spall, "Discharge coefficient performance of Venturi, standard concentric orifice plate, V-cone and wedge flow meters at low Reynolds numbers," *J. Pet. Sci. Eng.*, vol. 78, no. 3–4, pp. 559–566, 2011, doi: 10.1016/j.petrol.2011.08.008.

Optimización multi-objetivo del diseño de resortes considerando diseño robusto

Multi-objective optimization of springs considering robust design

Erick Van Patten Rivera

*Estudiante de Posgrado, Escuela de Ingeniería Mecánica, UCR
correo electrónico: erick.vanpatten@ucr.ac.cr*

Denis Abarca Quesada

*Profesor, Escuela de Ingeniería Mecánica, UCR
correo electrónico: denis.abarca@ucr.ac.cr*

Juan Gabriel Monge Gapper

*Estudiante de Posgrado, Escuela de Ingeniería Mecánica, UCR
correo electrónico: juan.mongegapper@ucr.ac.cr*

Palabras clave:

Algoritmo Genético, Análisis contra fatiga, Diseño robusto Optimización multi-objetivo, Resorte Helicoidal.

Keywords:

Fatigue Analysis, Genetic Algorithm, Helical springs, Multiobjective optimization, Robust design.

I. INTRODUCCIÓN

La industria de hidrocarburos es una de las más relevantes económicamente a nivel mundial debido a lo indispensable que es para el transporte, proceso y generación de energía [1]. En esta industria la regulación de caudal y presión en las tuberías es un factor crítico y que es comúnmente desempeñado por válvulas de control[2]. El correcto funcionamiento de esta válvula es dependiente de un resorte helicoidal, por lo que propiciar un diseño robusto y resistente a la fatiga es vital para el funcionamiento y seguridad de la válvula. Además de esto mantener al mínimo la masa y costo de producción del resorte tiene ventajas económicas relevantes debido al alto volumen y costo de producción de estos resortes.

Por lo tanto, durante esta investigación se pretende implementar un algoritmo genético que optimice la robustez del diseño, la resistencia a la fatiga y minimice la masa. Esto con la finalidad de no solo asegurar la operación segura y estable del resorte, sino también que se está logrando el diseño más económicamente atractivo al mismo tiempo asegurando tener la menor masa posible que cumpla con las condiciones requeridas.

II. MÉTODOS

El proceso de optimización se realiza utilizando el algoritmo evolutivo NSGA II. El flujo específico del algoritmo que se pretende utilizar se presenta de manera simplificada en la figura 1. El algoritmo genético NSGA II es un algoritmo de optimización estocástica que simula la evolución en la naturaleza para encontrar los individuos de la frontera Pareto-óptima de un problema [3]. Los puntos de diseño que se encuentran en esta frontera poseen los mejores valores para cada una de las funciones de optimización con respecto a los otros puntos del espacio solución [3].



Fig. 1. Imagen con el diagrama de flujo simplificado del programa (Fuente: El autor).

El caso en estudio sobre los resortes helicoidales se tiene que las funciones objetivo utilizadas son: la minimización de la masa, la maximización de la resistencia contra fatiga y la robustez del diseño. La primera función consiste en minimizar la masa del resorte. Para esto básicamente se utiliza la ecuación del volumen de un resorte multiplicada por la densidad del material, por lo que depende de los diámetros del resorte, del número de espiras activas y el diámetro del alambre.

La segunda función objetivo es maximizar la resistencia a la fatiga, esta función está relacionada con el método de conteo de ciclos y acumulación de daño de Miner. El factor de acumulación de daño de Miner representa la fracción de la vida útil del resorte consumida por uno de los ciclos presentados. Para esta función objetivo se realiza un sistema de masa-amortiguador-resorte con suficientes grados de libertad determinados de tal forma que la frecuencia máxima natural máxima del sistema discreto sea mayor a la frecuencia máxima principal de la fuerza externa al realizarle una transformación de Fourier [4].

Finalmente la tercera función objetivo utiliza el método Taguchi para asegurar un diseño robusto [5]. Este enfoque basado en la robustez del diseño busca minimizar la varianza del resultado obtenido en las dos funciones objetivo anteriores del resorte ante la posible variación no controlable del diámetro del alambre y el diámetro del resorte. Por lo tanto, busca minimizar el impacto en los resultados obtenidos ante un posible cambio de las variables de entrada.

III. RESULTADOS

La figura 2.a) muestra uno de los resultados obtenidos al introducir una fuerza aleatoria al sistema y poner un rango de variables para los diámetros del resorte de 3 cm a 8 cm, diámetro del alambre 4

mm a 8 mm y de espiras activas de 7 a 11. Por otra parte, en la figura 2.b) se muestran los resultados obtenidos para las mismas condiciones pero con una fuerza sinusoidal.

Se puede notar como la fuerza de excitación tiene un alto impacto en los resultados finales obtenidos y como el algoritmo permite al diseñador encontrar los puntos en la frontera óptima. Los puntos ubicados en esta frontera tendrán la mejor relación de resistencia a la fatiga y robustez del diseño con la menor masa posible, por lo que facilita en gran medida la elección de las dimensiones del resorte al saber que las combinaciones de variables extraídas del algoritmo serán las óptimas.

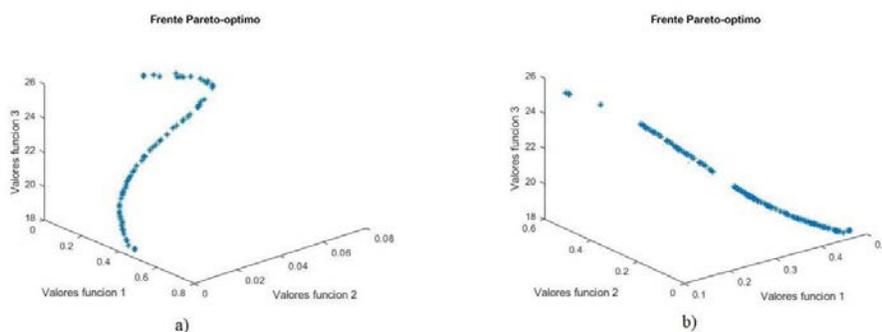


Fig. 2. Resultados para un resorte ante una fuerza aleatoria (Fuente: El autor).

IV. REFERENCIAS

- [1] L. Wood, *Control Valves Industry Report*. oct. de 2019.
- [2] E. Electric, *Daniel, Series 700 Control Valve, 6 IN (DN150)*. Emerson Electric, 2021.
- [3] K. Deb y D. Kalyanmoy, *Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms*. USA: John Wiley Sons, Inc., 2001.
- [4] R. Budynas, J. Shigley y J. Nisbett, *Shigley's Mechanical Engineering Design*. McGraw-Hill, 2008.
- [5] D. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, ép. Student solutions manual. John Wiley & Sons, 2008.

Modelado de rotura de presa viscoplástica por método WCSPH

Modeling of a viscoplastic dam break using the WCSPH method

Juan Gabriel Monge-Gapper

*Profesor, Escuela de Ingeniería Mecánica, UCR
correo electrónico: juan.mongegapper@ucr.ac.cr*

Alberto Serrano-Pacheco

*Profesor, Escuela de Ingeniería Civil, UCR
correo electrónico: alberto.serrano@ucr.ac.cr*

Palabras clave:

Hidrodinámica de partículas suavizadas, modelo numérico, partículas, viscosidad no lineal.

Keywords:

Nonlinear viscosity, numerical model, particles, smoothed particle hydrodynamics.

I. INTRODUCCIÓN

El modelado numérico de flujos con frecuencia se aplica a casos en que la viscosidad varía de manera significativa en el ámbito de los fenómenos que pretende simular. Estas variaciones convencionalmente son de interés para pronosticar la dinámica de los fluidos cuando su viscosidad es función de alguna condición cinemática, lo que en concepto es sencillo, pero su implementación en métodos numéricos implica vencer una serie de retos vigentes [1], especialmente para evitar que estas variaciones vuelvan inestable el método numérico.

Un modelo conocido para fluidos no lineales es el de Herschel-Bulkley, aplicable a fluidos viscoplásticos, los que se comportan como un sólido hasta tanto no se superen un esfuerzo cortante de cedencia τ_0 . Una vez superada esta condición, se vuelve un fluido cuya viscosidad variará como función de la velocidad de deformación cortante, que se denominará acá con la letra ϵ . Para incorporar esta condición a métodos computacionales sin que la discontinuidad funcional genere inestabilidades numéricas que impidan la convergencia de la solución, algunos autores han propuesto un enfoque de *viscosidad efectiva* y lo han aplicado a métodos tanto lagrangianos [2],[3] como eularianos [4],[5] con diferentes grados de éxito. El grado de precisión respecto a experimentos físicos que exhiben estos estudios previos dependen en gran medida del orden de magnitud del esfuerzo de fluencia τ_0 y se ha dedicado considerable esfuerzo a mejorar el modelado del fenómeno de inmovilidad condicional del fluido tal como se describe en [6],[7], entre otros.

En coherencia con lo anterior, en este estudio se plantea utilizar un enfoque de viscosidad efectiva para aplicar el modelo de viscosidad no lineal de Herschel-Bulkley al método numérico de *hidrodinámica*

de partículas suavizadas con compresibilidad artificial (WCSPH, por sus siglas en inglés), pero con la incorporación de un parámetro numérico que pretende mantener cuasiestática la zona del fluido que aún no ha entrado en condición de fluencia. Se comprueba la efectividad de esta aproximación con un caso bidimensional del colapso de un bloque de lodo para el que hay disponibles observaciones experimentales de su dinámica [8].

II. MÉTODOS

La aplicación de un modelo de viscosidad no lineal que implica la consideración de un esfuerzo de fluencia τ_0 que introduce una discontinuidad muy brusca en $\varepsilon = 0$, para lo que se ha ideado aproximar el escalón que ocurre en ese punto a un segmento de pendiente constante para un ámbito de $-\varepsilon_0 < \varepsilon < \varepsilon_0$ como se ilustra en la Fig. 1. De esa manera, para cualquier condición en que se encuentre el fluido se puede obtener la viscosidad efectiva local $\mu_e = \tau / \varepsilon$ para su uso en el modelo. La pendiente E es un parámetro numérico arbitrario que se elige suficientemente alto como para provocar un efecto rigidizador del fluido correspondiente a aproximar la condición previa a la fluencia.

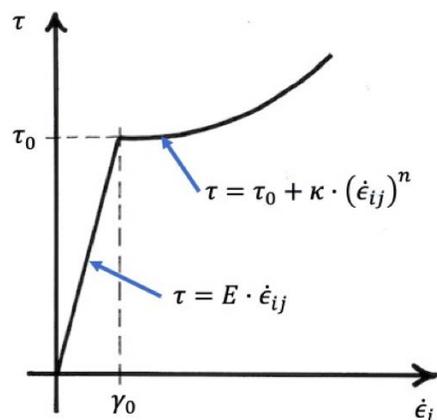


Fig. 1. Aproximación del cortante viscoso como función de la velocidad de deformación angular.

Los datos experimentales que se usaron como referencia [8] consideran el colapso de un bloque rectangular de fluido no lineal, en este caso un lodo arcilloso cuyo movimiento es esencialmente bidimensional. Consiste en un bloque de lodo de 130 mm de alto, 350 mm de ancho y 260 mm de largo; esto se encontraba en un tanque de igual ancho y de 1300 mm de longitud.

El funcionamiento de este enfoque y su impacto en la estabilidad del método numérico, se valoró mediante un programa escrito en lenguaje C original del autor (Gap-SPH, v2.2) [10] aplicando la formulación WCSPH descrita en [9]. Para este estudio en particular, se preparó para ese programa el contorno bidimensional del fluido y se aplicaron las fronteras ya descritas, junto con una implementación directa de la función descrita previamente en la Fig. 1. Las propiedades del lodo se consideraron como una densidad de $\rho = 1340.0 \text{ kg/m}^3$ y sus parámetros de Herschel-Bulkley eran un esfuerzo de fluencia de $\tau_0 = 30 \text{ Pa}$, un índice de consistencia $\kappa = 4.279 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ y un índice de

flujo de $n = 0.479$ [8]. Como parámetros del modelo SPH, se utilizaron $N = 5\,000$ partículas en una primera corrida en arreglo cuadrado regular y, para comprobar que se había llegado a convergencia, se aumentó a $N = 12\,000$ y $N = 23\,000$. La pendiente artificial se ajustó manualmente a un valor de $E = 100$ de manera que sea un valor alto pero que no afecte la convergencia ni la estabilidad del método en esta implementación.

III. RESULTADOS

Con los parámetros numéricos, constantes físicas y fronteras recién descritas, se obtuvieron resultados bastante satisfactorios, que en todo el tiempo de simulación presentaban un error cuadrático menor al 7,5 % en la posición vertical del perfil del bloque de lodo en proceso de colapso. Los datos experimentales que se usaron para obtener este indicador de error estaban disponibles para ciertos instantes del proceso de colapso, correspondiente a $t = [0,500\text{ s}; 0,625\text{ s}; 0,750\text{ s}; 875\text{ s}; 1,000\text{ s}]$. En la Fig. 2 se muestran los perfiles para tres de los instantes previamente mencionados, y se puede ver que el modelo numérico reproduce bien el apilamiento en el frente de avance, aunque ligeramente adelantado respecto al experimento.

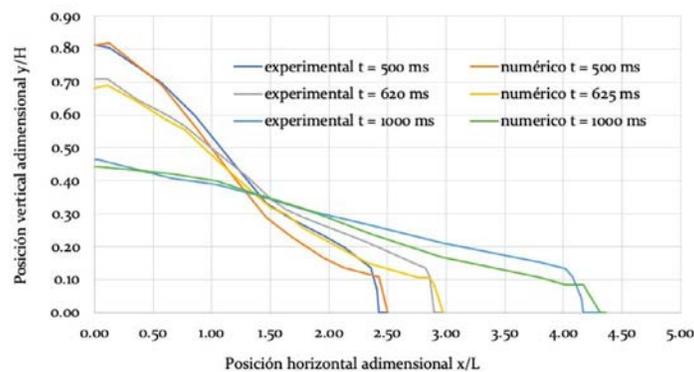


Fig. 2. Perfiles adimensionales del colapso para etapas dinámicas del colapso.

Este adelantamiento se ve reflejado no sólo en la posición del frente de avance, sino también en la contracción aparente del fluido en algunas zonas, como si se perdiera la condición de incompresibilidad del lodo. Estos efectos se deben a dos problemas separados; por una parte, en el frente de avance la resolución es menor, con lo que las interacciones entre partículas se reducen y, por ende, la fuerza neta que las afecta también baja ligeramente. Al haber menos restricciones viscosas al movimiento, las zonas con baja resolución tienen más grados de libertad e incluso puede presentarse fuga de partículas, que son grupos de pocas partículas (menos de 10) que se separan de la masa principal del flujo. En cuanto a la pérdida aparente de volumen en el modelo numérico, hay que tener en mente que el método de WCSPH incorpora una compresibilidad artificial, lo que se necesita para la solución numérica de la ecuación de conservación de cantidad de movimiento.

Por otra parte, en las fronteras, vale la pena señalar que se está asumiendo que las fronteras sólida está lubricadas con agua y no hay efecto de cohesividad entre el lodo y las fronteras, pero el porcentaje de agua en masa que mencionan los autores del experimento [8] para el lodo es suficiente como para asumir que las paredes se encuentran mojadas. Por ello, en este caso la acción de las fronteras no parece estar afectando la evolución del flujo, que en todo caso tendría una geometría marcadamente diferente que se vería en los perfiles provenientes de los datos experimentales, quizás hasta con la formación de crestas u ondulaciones.

Para atender algunas de las imprecisiones, el trabajo futuro de los autores se enfocará a considerar efectos de la cohesividad del lodo con la frontera, así como mejorar la suavidad del contorno en el frente de avance en donde el apilamiento conserva una esquina que no aparece en los experimentos usados de referencia. También conviene explorar el impacto que tiene en la precisión y la estabilidad numérica la incorporación de un esfuerzo de fluencia variable como función de la presión hidrostática local, especialmente para valores altos de este parámetro.

IV. REFERENCIAS

- [1] Vacondio, R. et al. "Grand challenges for Smoothed Particle Hydrodynamics numerical schemes", *Computational Particle Mechanics*, (8) pp. 575–588, Setiembre 2020.
- [2] Vosoughi, F. et al. Experimental study and numerical verification of silted-up dam break" *Journal of Hydrology*, 590, 125267, 2020.
- [3] Issakhov, A. y Zhandaulet, Y. "Numerical study of dam break waves on movable beds for various forms of the obstacle by VOF method" *Ocean Engineering*, 209, 107459, 2020.
- [4] Manenti, S., Amicarelli, A. y Todeschini, S. "WCSPH with Limiting Viscosity for Modeling Landslide Hazard at the Slopes of Artificial Reservoir", *Water*, 10, 515, Abril 2018.
- [5] Zubeldia, E. H., Fourtakas, G., Rogers, B.D., y Farias, M. M. "Multi-phase SPH model for simulation of erosion and scouring by means of the Shields and Drucker–Prager criteria". *Advances in Water Resources* 117 pp. 98-114, 2018.
- [6] Shi, H. Yu, X. y Dalrymple R.A. "Development of a two-phase SPH model for sediment laden flows" *Computer Physics Communications* 221 pp. 259-272, 2018.
- [7] Krimi, A. et al. "Multiphase smoothed particle hydrodynamics approach for modeling soil–water interactions". *Advances in Water Resources*, 121, pp.189-205, 2018.
- [8] Li, X. y Zhao, J. "Dam-break of mixtures consisting of non-Newtonian liquids and granular particles", *Powder Technology*, 336 pp. 493–505, Julio 2018.
- [9] Liu, M. B. y Liu, G. R. *Particle Methods for Multi-Scale and Multi-Physics*, World Scientific, Upper Saddle River, N.J., 2015.
- [10] Monge-Gapper, J.G y Serrano-Pacheco, A. "Flujo en compuerta inferior de represa bidimensional larga por el método de WSPH", *Revista Ingeniería*, 31(2), Junio 2021.
- [11] Viouleau, D. *Fluid Mechanics and the SPH Method: Theory and Applications*, Oxford University Press, Oxford, 2015.

Diseño de un sistema de resortes para máquinas biosaludables

Design Of Spring System For Biomechanical Machines

Sebastián España Tapia

Estudiante, UCR

correo electrónico: s.espana@outlook.com

Palabras clave:

Acoplamiento, Ejercicio físico, Máquinas Biosaludables, Resortes, Sobrecarga Progresiva.

Keywords:

Coupling, Physical exercise, Bio-healthy machines, Springs, Progressive overload..

I. INTRODUCCIÓN

Como parte del desarrollo de un Trabajo Final de Graduación titulado “Análisis y Diseño de Máquinas Biosaludables” se pretende realizar un nuevo diseño para máquinas biosaludables, donde se permita a los usuarios ajustar la resistencia del ejercicio. De esta manera se busca implementar un diseño cómodo de usar para las personas, y que a la vez sea resistente a actos de vandalismo, esto debido a que las máquinas se encuentran en parques públicos a la intemperie. Todo esto, buscando como objetivo final mejorar la adherencia al ejercicio de la población sedentaria o personas mayores, buscando exponer a un público general, máquinas que puedan ser adaptables a los requerimientos de fuerza individual y que a su vez relacionen el concepto de trabajo con el peso corporal. Finalmente, para este análisis se utiliza como ejemplo la máquina del Elevador, donde se incorpora una modificación llamada Sistema de Resortes. Se presentan gráficos de fuerza vs desplazamiento comparando los valores alcanzables por el mecanismo sin posibilidad de ajustes y el mecanismo propuesto con el fin de evidenciar las diferencias entre cada modelo.

II. MÉTODOS

Para lograr mejorar la adherencia de las personas al ejercicio como objetivo, se tomó la decisión de incorporar resortes que puedan ser acoplados y desacoplados al mecanismo permitiendo a la persona ajustar la resistencia como desee. Este mecanismo se inspira en el funcionamiento de los “damper clutch” que son utilizados en automóviles para aislar las vibraciones del motor de la caja de cambios. La máquina biosaludable analizada en este caso es el Elevador (Fig. 1) cuyo diseño original seleccionado es de la marca CICADEX, cuyo mecanismo es sin posibilidad de ajustes.

La intención del uso de este mecanismo es que, entre los discos del sistema pueda haber un giro de hasta 400, correspondiente al rango de movimiento que la persona efectuaría (incluyendo

cierto margen para personas con brazos más largos). Al generar este movimiento relativo, se realiza una compresión de los resortes del sistema generando una fuerza de reacción que se opone al movimiento de empuje que realiza el sujeto. Estos discos pueden acoplarse o desacoplarse del sistema permitiendo a la persona elegir la resistencia que sea adecuada para ella.

Para el Elevador, el damper clutch se modifica de manera que ahora está compuesto por tres piezas circulares y dos resortes, la Fig. 2 permite identificar todas las piezas que componen el sistema. La pieza D1 no puede girar sobre su propio eje pero sí se puede desplazar longitudinalmente a través del riel de soporte. La pieza D2 sí puede girar en su propio eje y se desplaza longitudinalmente con el conjunto, la misma se acopla al mecanismo del Elevador permitiendo generar una fuerza de oposición el movimiento del mismo.

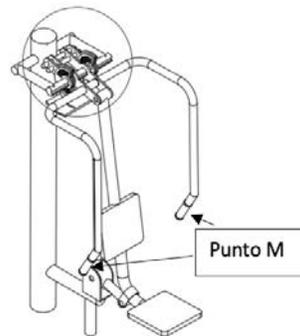


Fig. 1. Máquina biosaludable conocida como Elevador y Sistema de Resortes implementado (encerrado en un círculo) (Elaboración propia).

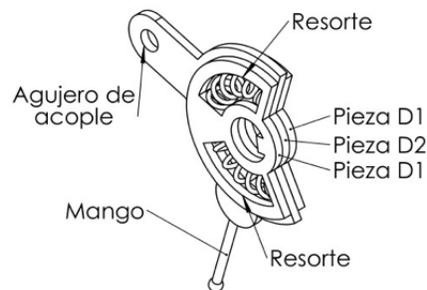


Fig. 2. Isométrico del sistema compuesto por las piezas D1, D2 y resortes (los resortes no están representados) (Elaboración propia).

Para evidenciar las diferencias de la efectividad de la adición del sistema de acoplamiento y desacoplamiento, se realiza un análisis cinético y dinámico del mecanismo del Elevador. El mismo se puede simplificar como un sistema de cuatro barras y mediante este análisis se busca conocer el cambio en la magnitud del vector de fuerza que la persona debe aplicar en los mangos de la máquina (punto M) para levantar su propio peso. Como punto de comparación para este análisis se compara el trabajo

generado por el vector de fuerza anteriormente mencionado del mecanismo original y de las diferentes configuraciones del mecanismo modificado.

III. RESULTADOS

En esta sección se presentan gráficos pertenecientes a los valores de fuerza en newton generada en el mango de la máquina del Elevador para una persona con un peso de 59.8 kg (Fig. 3). En dicha figura se pueden observar los cambios en la fuerza efectuada para cada uno de los niveles de resistencia que el mecanismo puede generar. Cabe tomar en cuenta que el trabajo es considerado como el área bajo la curva del gráfico de fuerza vs diferencial de desplazamiento.

Finalmente, dado que las gráficas son generadas en Excel, se saca la línea de mejor ajuste para cada gráfica obteniendo así la ecuación correspondiente la cual se integra y permite obtener el área bajo la curva que en este caso representa el trabajo generado en julios. En el Cuadro I se resumen los valores de trabajo para cada gráfico.

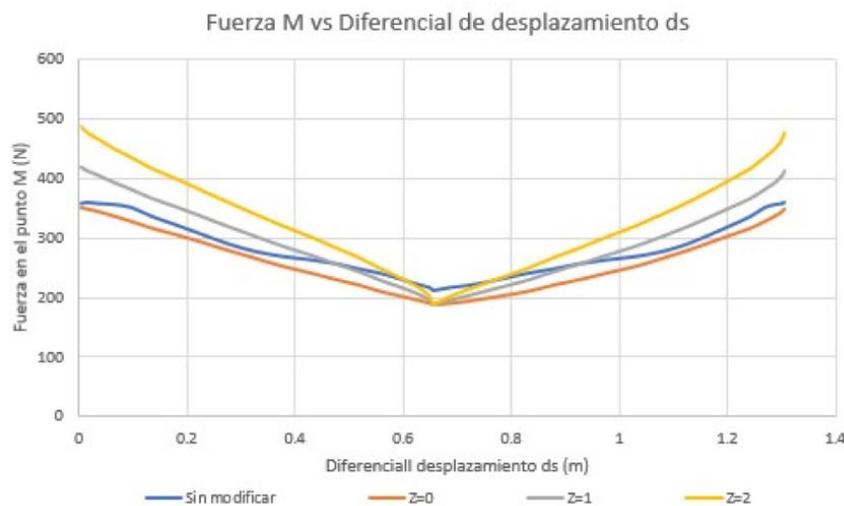


Fig. 3: Gráfico de fuerza en el punto de agarre M vs diferencial de desplazamiento para el mecanismo original de CICADEX y para cada configuración diferente del mecanismo de Elevador con las modificaciones propuestas. Donde: la curva Z=0 corresponde al mecanismo modificado sin sistema de resortes, la curva Z=1 al mecanismo modificado con 1 sistema de resortes y la curva Z=2 al mecanismo modificado con 2 sistemas de resortes acoplados. (Elaboración propia)

CUADRO I

VALORES DE TRABAJO COMO RESULTADO DEL ÁREA BAJO LA CURVA DE FIG. 3

Gráfico	Trabajo (J)
Gráfico de mecanismo original	361.15
Gráfico de mecanismo modificado sin sistema de resortes	332.29
Gráfico de mecanismo modificado con 1 sistema de resortes	376.28

Este adelantamiento se ve reflejado no sólo en la posición del frente de avance, sino también en la contracción aparente del fluido en algunas zonas, como si se perdiera la condición de incompresibilidad del lodo. Estos efectos se deben a dos problemas separados; por una parte, en el frente de avance la resolución es menor, con lo que las interacciones entre partículas se reducen y, por ende, la fuerza neta que las afecta también baja ligeramente. Al haber menos restricciones viscosas al movimiento, las zonas con baja resolución tienen más grados de libertad e incluso puede presentarse fuga de partículas, que son grupos de pocas partículas (menos de 10) que se separan de la masa principal del flujo. En cuanto a la pérdida aparente de volumen en el modelo numérico, hay que tener en mente que el método de WCSPH incorpora una compresibilidad artificial, lo que se necesita para la solución numérica de la ecuación de conservación de cantidad de movimiento.

Por otra parte, en las fronteras, vale la pena señalar que se está asumiendo que las fronteras sólida está lubricadas con agua y no hay efecto de cohesividad entre el lodo y las fronteras, pero el porcentaje de agua en masa que mencionan los autores del experimento [8] para el lodo es suficiente como para asumir que las paredes se encuentran mojadas. Por ello, en este caso la acción de las fronteras no parece estar afectando la evolución del flujo, que en todo caso tendría una geometría marcadamente diferente que se vería en los perfiles provenientes de los datos experimentales, quizás hasta con la formación de crestas u ondulaciones.

Para atender algunas de las imprecisiones, el trabajo futuro de los autores se enfocará a considerar efectos de la cohesividad del lodo con la frontera, así como mejorar la suavidad del contorno en el frente de avance en donde el apilamiento conserva una esquina que no aparece en los experimentos usados de referencia. También conviene explorar el impacto que tiene en la precisión y la estabilidad numérica la incorporación de un esfuerzo de fluencia variable como función de la presión hidrostática local, especialmente para valores altos de este parámetro.

IV. REFERENCIAS

- [1] A. L. Buitrago-Méndez, S. España-Tapia y V. Pugliese-Gallardo, «Análisis y Diseño de Máquinas Biosaludables,» Universidad de Costa Rica (Tesis de Licenciatura), San José, 2021.

Diseño de una micro-red aislada para el Albergue Base Crestones - Parque Nacional Chirripó

Design of an isolated microgrid for the Albergue Base Crestones - Chirripó National Parks

Jorge González Calderón
Escuela de Ingeniería Eléctrica, UCR
correo electrónico: jorge.gonzalezcalderon@ucr.ac.cr

Donald Villegas Barrantes,
Escuela de Ingeniería Eléctrica, UCR
correo electrónico: donald.villegasbarrantes@ucr.ac.cr,

Manuel Barboza Chacón,
Escuela de Ingeniería Eléctrica, UCR
correo electrónico: manuel.barbozachacon@ucr.ac.cr

Gustavo Badilla Salas,
Escuela de Ingeniería Eléctrica, UCR
correo electrónico: gustavo.badillasalas@ucr.ac.cr

Javier Solís Alfaro
Escuela de Ingeniería Eléctrica, UCR
correo electrónico: javier.solisalfaro@ucr.ac.cr

Oscar Núñez Mata.
Escuela de Ingeniería Eléctrica, UCR
correo electrónico: oscar.nunezmata@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Almacenamiento, generador eléctrico, micro-redes, manejo de energía, planta fotovoltaica.

Keywords:

Storage, electric generator, micro-grids, energy management, photovoltaic plant.

I. INTRODUCCIÓN

El sistema eléctrico actual del Albergue Base Crestones no satisface plenamente las necesidades energéticas del mismo, limitando el desarrollo de nuevos servicios, aumentando la dependencia de combustibles fósiles para la generación de electricidad durante la época seca y comprometiendo la continuidad del suministro, así como la sostenibilidad económica y ambiental del albergue. Lo anterior

debido a que: a) existen siete meses al año con el caudal del Río Talari disminuido significativamente (lo que implica recurrir al uso de generación basada en Diésel); y, b) el uso del grupo electrógeno implica costos operativos elevados y contaminación. Por lo tanto, se propone el diseño de una micro-red, que integre y gestione de manera óptima: i) la micro-central hidroeléctrica existente; ii) una planta fotovoltaica; iii) un sistema de almacenamiento de energía; y, iv) la demanda energética de las cargas. Un dato a considerar es que el albergue se encuentra ubicado a $9^{\circ}27'33.7''$ de latitud Norte y a $-83^{\circ}50'29.3''$ de longitud Oeste, a una altitud de 3.564 m.s.n.m, lo que impone desafíos importantes al proyecto.

II. ESQUEMA DE LA MICRO-RED

El estándar IEEE 1547.4-2011 [1] define una micro-red como un sistema eléctrico que posee diferentes recursos de generación distribuida (GD), múltiples cargas, con posibilidad de operar en modo aislado o interconectado a otra red, y puede operar con flujos de potencia bidireccionales. Las micro-redes constituyen los “bloques de construcción” de las redes inteligentes, y tienen capacidades de control sobre la operación de la red, la GD (incluyendo unidades como micro-turbinas, celdas de combustible y arreglos fotovoltaicos), y dispositivos de almacenamiento. En la figura 1 se presenta un esquema genérico de una micro-red. La micro-red gestiona las diferentes unidades de GD, almacenamiento y demanda por medio de un Sistema de Gestión de Energía (o EMS por sus siglas en inglés). Las micro-redes conforman un componente muy importante en la solución de los problemas económicos, ambientales y sociales que enfrentan los sistemas eléctricos de potencia [2].

III. METODOLOGÍA

El presente proyecto de investigación propone una metodología según la figura 2. El diseño inicia con una etapa de diagnóstico, en donde se evalúan las características del lugar donde se construirá la micro-red, así como patrones de uso y requerimientos energéticos. Finalizada, se tienen los insumos para realizar la definición de la caracterización (arquitectura, tensión de operación, entre otros). Luego, se procede a realizar la simulación para el dimensionamiento óptimo de acuerdo a las premisas del estudio y así determinar el diseño eléctrico de la micro-red. Finalizado el proceso de diseño eléctrico, se procede a la simulación para obtener los parámetros eléctricos en todos los nodos, en las diferentes condiciones de operación.

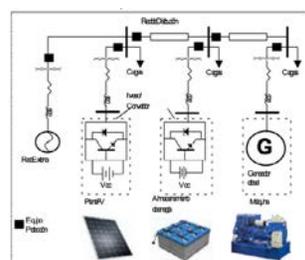


Fig. 1: Diagrama unifilar de una micro-red genérica. Fuente: Núñez (2019).

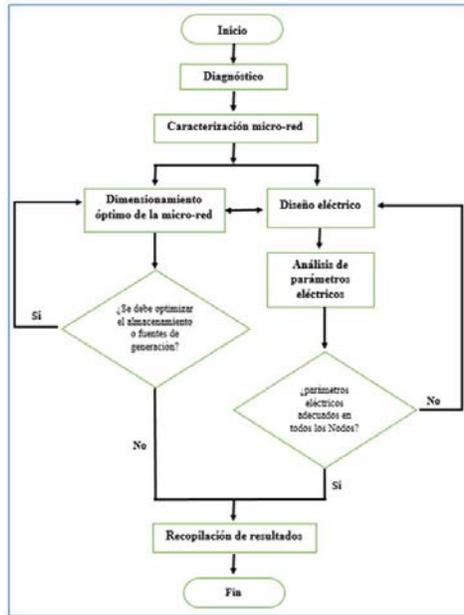


Fig. 2. Metodología propuesta.

IV. CASO DE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Siguiendo la metodología propuesta, se procedió a realizar el dimensionamiento óptimo de los elementos contenidos en la micro-red (generador fotovoltaico y almacenamiento de energía con baterías). Se analizaron diferentes escenarios los cuales se muestran en la figura 3. Para esta propósito de utilizó el software HOMER.

Para el escenario óptimo encontrado, el almacenamiento tendrá un tamaño de 79 kWh, un inversor de 30 kW y un generador fotovoltaico de 50 kWp.

Además, se procedió a calcular el flujo de potencia para asegurar que las condiciones de tensión y ampacidad de los conductores en los diferentes nodos de la micro-red sean los adecuados. El resultado se presenta en la figura 4. Respecto al algoritmo del EMS, se consideró un esquema de control centralizado, basado en la estrategia de horizonte rodante. [3]

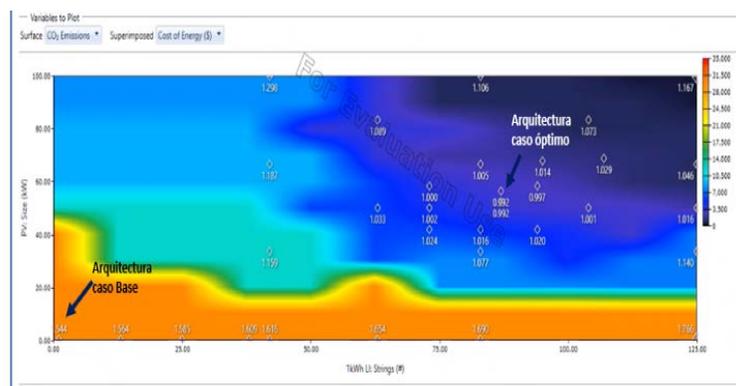


Fig. 3. Simulación en Homer.

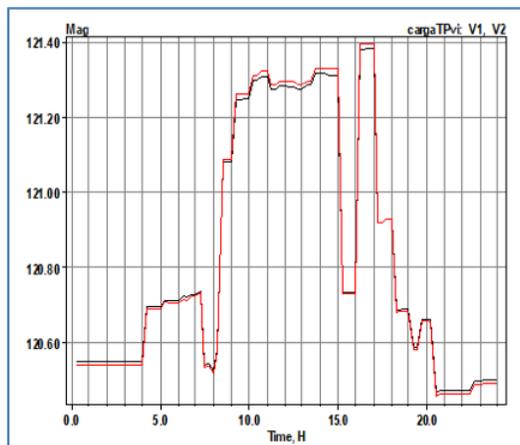


Fig. 4. Flujo de potencia.

V. RESULTADOS

La metodología presentada permitió diseñar una micro-red aislada, que se adecúe a las instalaciones de un centro de visitantes y funcionarios de un parque nacional, alejado de las zonas urbanas. De acuerdo con las simulaciones, es factible que el diseño opere dentro de los parámetros eléctricos requeridos por la normativa nacional. Los resultados obtenidos con el EMS propuesto, versus los resultados alcanzados utilizando los controladores propios del software HOMER, fueron idénticos entre sí en los primeros dos escenarios, mientras que en los dos últimos son altamente similares.

VI. REFERENCIAS

- [1] N. Hatziargyriou, *Microgrids: Architectures and control*, Firts Edit. United Kingdom: IEEE, 2014.
- [2] IEEE, "Standard 1547 for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems Standards," 2012.
- [3] R. Palma et al., "A Microgrid energy management system based on the rolling horizon strategy," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 4, no. 2, pp. 996–1006, 2013.

Análisis de factibilidad para una micro-red eléctrica en el Parque Nacional Isla del Coco

Feasibility analysis for a micro-grid in Cocos Island National Park

Kevin R. Alvarado Araya
Escuela de Ingeniería Eléctrica, UCR
kevin.alvaradoaraya@ucr.ac.cr

Óscar Fdo. Núñez Mata
Escuela de Ingeniería Eléctrica, UCR

Palabras clave:

Almacenamiento de energía, generador, generación distribuida, mantenimiento, micro-red.

Keywords:

Energy storage, generator, distributed generation, maintenance, micro-grid.

I. INTRODUCCIÓN

Este proyecto recopila información existente sobre los centros de consumo, ubicación de estructuras, planos eléctricos de instalaciones y datos técnicos sobre los elementos de generación existentes en el Parque Nacional Isla del Coco (PNIC). A partir de estos datos se procede a realizar un diagrama unifilar detallado y actualizado de la totalidad del sistema eléctrico del parque, así como un diagnóstico de las condiciones y amenazas de los elementos del sistema. Una vez que se conoce a detalle el sistema eléctrico de la isla y las variables climáticas, se plantean los costos para una reparación y adaptación de la red a un sistema basado en una micro-red aislada mediante la simulación de distintos escenarios de generación y consumo del PNIC.

II. METODOLOGÍA

La necesidad de plantear mejoras al sistema eléctrico de la Isla del Coco se aborda a través de la recolección de documentos y entrevistas con personal del ICE, CNFL, UCR y SINAC involucrado en la planificación, construcción y mantenimiento de la red eléctrica existente. A partir de esta información se procede a establecer los puntos débiles y necesidades del sistema, así como el potencial de recursos renovables para abastecer la demanda. Es necesario hacer una estimación de la demanda horaria, con el fin de simular escenarios optimizados a través de la herramienta computacional HOMER Pro.

III. SISTEMA ELÉCTRICO DE LA ISLA DEL COCO

El PNIC cuenta con dos centros de operaciones ubicados en Bahía Wafer (principal) y Bahía Chatham (instalaciones en desuso), así como un radar de vigilancia y comunicaciones. La documentación arquitectónica y eléctrica de estas edificaciones han sido abordada en los trabajos de [1]-[4]. La red carece de un sistema de almacenamiento funcional y depende principalmente de la generación suministrada por el grupo electrógeno (G.E.) ubicado en bahía Wafer y de la planta hidroeléctrica (P.H.) Genio; los detalles de los elementos de generación se observan en el CUADRO I.

CUADRO I.

CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS DE GENERACIÓN

Elemento	Potencia	En servicio	Fuera de servicio
P.H. Genio	30 kW	X	
P.H. Olivier	8 kW		X
G.E. Wafer	30 kVA	X	
G.E. Chatham	20 kVA		X
Paneles Chatham	-		X
Capacidad instalada	88 kVA	60 kVA	+28 kVA

Las características de la red se agrupan en el primer diagrama eléctrico de la totalidad de la isla, el cual contempla el nombre de los tableros, capacidad de los elementos de generación, número y calibre de conductores, unts de transferencia y nombre de tableros de distribución.

El diagnóstico concluye que el sistema presenta problemas tales como: fluctuaciones de fluido eléctrico, caída de tensión en los ramales, falta de puesta a tierra, deterioro debido a la antigüedad de los equipos y receptáculos, violaciones al código eléctrico, conductores expuestos, canalizaciones deficiente o inexistentes, materiales e instalaciones inadecuadas a las condiciones climáticas de la isla. Además, se determina que la principal amenaza a la integridad la red es la corrosión producto de la exposición a la salinidad marina y la humedad de la zona.

IV. CASO DE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A partir de un análisis de variables climáticas usando los datos de [5] y [6] se determinan los perfiles de los recursos a considerar en las simulaciones. La temperatura promedio diaria tiende a ser ligeramente más alta entre los meses de enero y mayo, en su mayoría los valores se mantienen entre los 25° C y 27° C. Durante los meses de junio a diciembre la temperatura ronda los 24° C y 25° C. La isla posee un clima bastante lluvioso, de 1522 días registrados entre el 2013 y 2017, hubo precipitaciones en 1147 de ellos, es decir, llovió un 75,36% de los días. El 80% de los días llovidos, las precipitaciones fueron menores a 1 mm y alrededor de un 10% entre 1 y 2 mm. La humedad relativa promedio es del 89% y la velocidad promedio horaria del viento es de apenas 2,17 m/s lo cual es muy bajo para considerar la instalación de aerogeneradores. El consumo se calcula a través del criterio de carga neta descrito en el NEC 2014 y criterios de demanda típica para oficinas y hogares.

Conociendo las características de los recursos, costos de adaptación, mantenimiento y operación de la red y la información de los elementos de generación y consumo, se realizan simulaciones en HOMER Pro. El programa simula 26 394 soluciones, de las cuales 18 374 son factibles, 8 020 no son factibles debido a que no cumplen con los porcentajes mínimos de energía renovable establecidos y se omiten 4 910 soluciones

A partir de las simulaciones el programa determina 12 casos factibles, de los cuales es de particular interés el caso con fracción renovable de 80%, reserva solar de 15%, precio del Diésel de \$5 y factor de escalamiento de 637,2 kWh/día. Llevar a cabo la instauración de este sistema en la Isla del Coco requiere de un capital inicial \$444 400 para adaptar la red y cambiar el cableado eléctrico existente, el proyecto tienen un valor presente neto de \$2 810 000. Asimismo, los costos anuales de mantenimiento y rondan los \$130 000 los cuales incluyen repuestos y salarios por mantenimiento semanal de las instalaciones. El esquema de producción para este sistema se detalla en la Fig. 1, donde cabe destacar que no se requiere de un sistema fotovoltaico, ya que los elementos instalados en el PNIC pueden satisfacer la demanda del parque.



Fig. 1. Esquema de generación de una micro-red para el caso de interés.

VI. REFERENCIAS

- [1] M. Pineda Brenes, “Plan maestro y diseño de infraestructura para la zona de Wafer y Chatham del Parque Nacional Isla del Coco”, Proyecto de graduación, Instituto Tecnológico de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2017.
- [2] A. Méndez Sáenz, “Revisión y evaluación del sistema eléctrico en edificaciones existentes en la bahía Wafer del Parque Nacional Isla del Coco”, Proyecto Eléctrico, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2018.
- [3] A. A. Gómez Cordero, “Revisión y evaluación del sistema eléctrico en edificaciones existentes en la Bahía Chatam del Parque Nacional Isla del Coco”, Proyecto Eléctrico, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2018.
- [4] I. Garita Calderón, Análisis del sistema eléctrico en la Isla del Coco, Comunicación personal, 2020.
- [5] Instituto Meteorológico Nacional, Información Meteorológica de la estación Isla del Coco desde 1998 al 2017, Archivo en formato EXCEL, 2020.
- [6] World Bank Group, “Global Solar Atlas: Cocos Island”, <https://globalsolaratlas.info/map?c=5.5186,-87.081757,11&s=5.542179,-87.060471&m=site> (Accesado Mar. 11, 2021).

Aplicación de micro-sincrofasores en sistemas de protección de redes de distribución eléctrica

Application of micro-synchrophasors in electrical distribution network protection systems

Alex Mejía Dubón

*Escuela de Ingeniería Eléctrica, UCR
correo electrónico: alex.mejia@ucr.ac.cr*

Oscar Núñez Mata.

*Escuela de Ingeniería Eléctrica, UCR
correo electrónico: oscar.nunezmata@ucr.ac.cr*

Palabras clave:

Micro-sincrofasor, protecciones eléctricas, series de tiempo, simulación en línea, simulación fuera de línea.

Keywords:

Micro-synchrophasor, electrical protections, time series, online simulation, offline simulation.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente está en desarrollo las Unidades de Medición Fasorial, dotadas de alta precisión, diseñadas para proporcionar un significativo nivel de visibilidad en los sistemas de distribución, conocidas como micro-sincrofasor (μ PMU) [1]. Al instalar estas unidades en una red de distribución eléctrica, y enlazadas a través de una red de comunicación, se logra un gran volumen de mediciones de fasores de voltaje y corriente, que puede ser utilizado para desarrollar sistemas de protección basados en técnicas de Inteligencia Artificial (IA). En el mundo de las protecciones se observa el potencial de la IA, para complementar aquellos aspectos en que los sistemas de protección clásicos tienden a no ser efectivos, como puede ser en redes que incluyen generación distribuida (GD). Una alternativa complementaria a los sistemas de protecciones actuales, sería desarrollar esquemas de protección adaptativos que puedan auto ajustarse a los cambios en los flujos de potencia y las modificaciones de la topología de la red. Hay indicios que los algoritmos de aprendizaje de máquinas (AM) se pueden modificar para implementarlos en aplicaciones en tiempo real, de tal manera que detecten condiciones de falla de la red eléctrica, utilizando los datos generados por la triangulación de un grupo de micro-sincrofasores en red. El propósito de este trabajo es la implementación de una red de micro-sincrofasores instalados en un alimentador de media tensión, utilizando la plataforma del simulador en tiempo real OPAL-RT, la cual generará los datos que permitirán evaluar el desempeño de los algoritmos propuestos, bajo condiciones simuladas de fallas en la red eléctrica y en la red de comunicaciones del sistema de μ PMU's.

II. SISTEMA DE SIMULACIÓN RED DE MICRO-SINCROFASORES

El presente trabajo busca mediante el software de simulación en tiempo real Hypersim de OPAL-RT, desarrollar un modelo de red eléctrica de prueba básico, para simular la medición de voltajes y corrientes con sus respectivos ángulos de fase por medio de μ PMU's. Las mediciones generarán datos en series de tiempo sincronizadas de la operación de la red en condiciones normales de operación y bajo falla. La red de prueba propuesta se muestra en la Fig. 1, mostrando los diferentes componentes de la red eléctrica, así como de los μ PMU's.

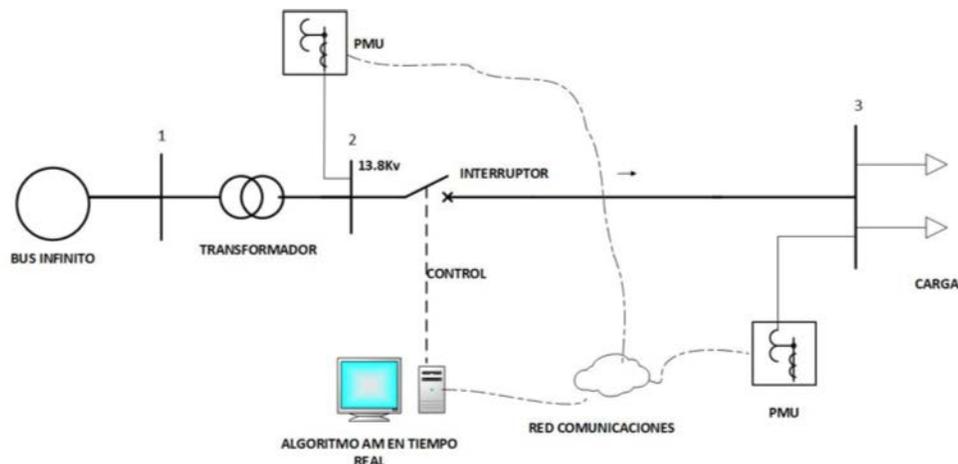


Fig. 1. Modelo de red a simular con OPAL-RT.

III. METODOLOGÍA PROPUESTA SISTEMA ELÉCTRICO DE LA ISLA DEL COCO

En el presente proyecto se propone definir un modelo de red de distribución eléctrica, estableciendo su voltaje de operación, topología, sistema de protección contra fallas (relevadores y fusibles) y condiciones de operación de la red según se muestra en la Fig. 1. Una vez definido el modelo de red se simulará su operación de manera virtual utilizando la plataforma OPAL-RT, la cual permite con el software HYPERSYM definir parámetros de la red e integrar sistemas de protección, control y sincrofasores (PMU y SCADA C37.118) para operar la red en tiempo real [3]. Los algoritmos basados en aprendizaje de máquinas (AM) que sean seleccionados para ser adaptados o modificados para su utilización en sistemas de protección de redes de distribución eléctrica, serán sometidos a pruebas de desempeño bajo dos modalidades, pruebas en línea y pruebas fuera de línea. La metodología de prueba de los algoritmos de AM en línea se realizará según la secuencia de pasos mostrada en la Fig. 2, donde los datos de las mediciones en series de tiempo simuladas en el OPAL-RT serán transferidas a una computadora para ser procesadas simultáneamente por el algoritmo de AM, el cual detectará patrones y condiciones anormales producidas por fallas en la red de distribución, dependiendo de la capacidad del algoritmo de detectar las fallas así será su desempeño. La Fig. 2 muestra la secuencia de pruebas en modalidad fuera de línea, la cual consiste en utilizar la plataforma OPAL-RT para simular la red de distribución y grabar los datos en formato de series de tiempo para

crear una base de datos en archivos csv para su uso posterior en la evaluación de los algoritmos de AM, utilizando programas desarrollados en lenguaje Python.

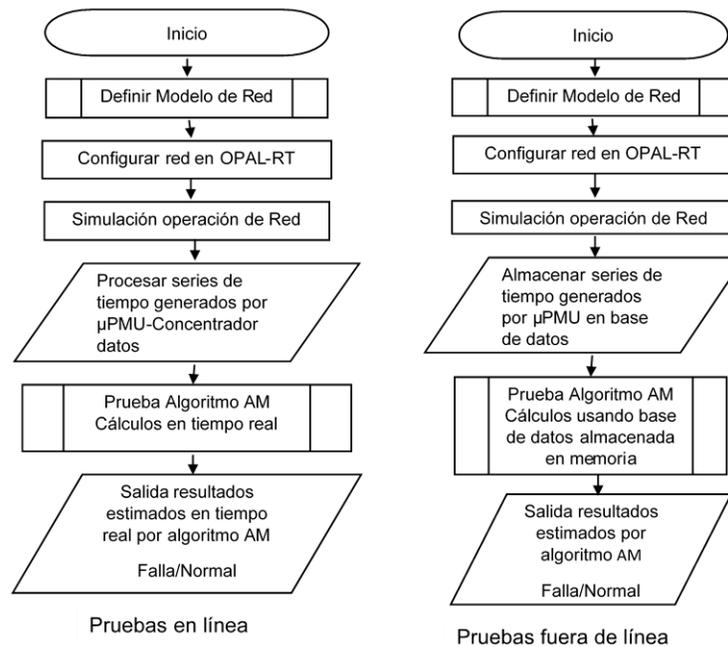


Fig. 2. Diagrama de secuencia para la implementación del sistema de pruebas de algoritmos de AM con pruebas en línea y fuera de línea.

IV. CASO DE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Siguiendo la metodología propuesta, se procederá a evaluar el desempeño de algoritmos de AM, desarrollando una plataforma de pruebas por medio de programas elaborados con el software Python [2]. Los algoritmos implementados en los programas de software, deberán detectar a través del análisis de los datos las fallas eléctricas simuladas en el sistema OPAL-RT. A continuación se presenta como caso de estudio la implementación del algoritmo de aprendizaje por refuerzo llamado Muestreo de Thompson (MT), el cual ha sido ampliamente estudiado y es utilizado para aplicaciones de toma de decisiones en línea y de optimización, tomando acciones de forma secuencial a manera de equilibrar la explotación de los datos conocidos para maximizar el rendimiento y la inversión para acumular nueva información para mejorar el rendimiento futuro [4]. La prueba del algoritmo se realiza bajo la modalidad fuera de línea y se utilizaron los datos mostrados en la Fig. 3, la cual muestra las gráficas de voltaje y corrientes de un sistema trifásico a 13.8kV, las mediciones están sincronizadas en series de tiempo espaciadas a 8.33ms equivalentes a las mediciones de magnitud enviadas por un μ PMU. El programa desarrollado en Python permite al algoritmo MT analizar los datos cada 1000ms es decir procesar 120 muestras por cada fase, equivalente a 720 datos para generar un histograma de la distribución de fases falladas y de las fases seleccionadas por el algoritmo MT durante los 1000ms de muestras de las señales.

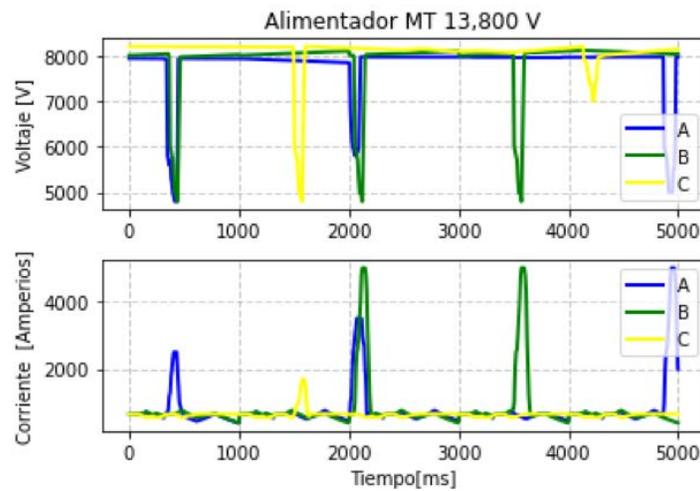


Fig. 3. Series de tiempo periodo de muestreo cada 8.33ms, duración 5000ms.

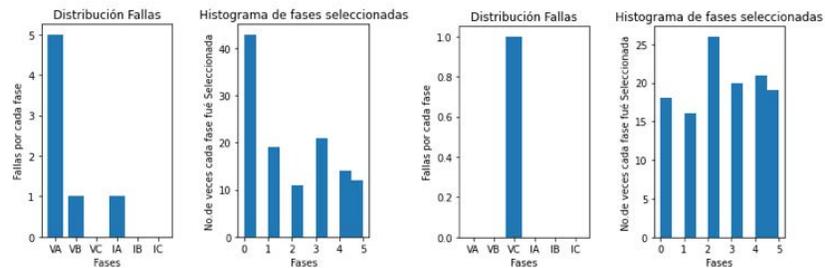


Figura 4. Datos rango 0-1000ms

Figura 5. Datos rango 1000-2000ms

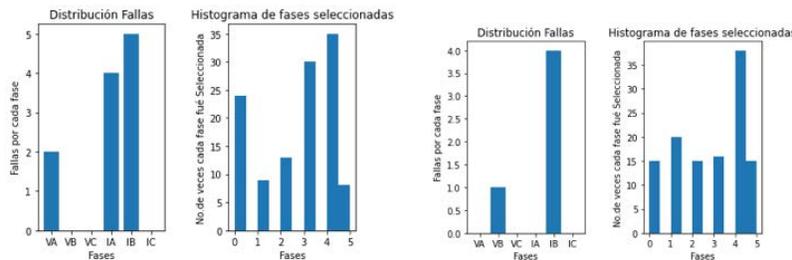


Figura 6. Datos rango 2000-3000ms

Figura 7. Datos rango 3000-4000ms

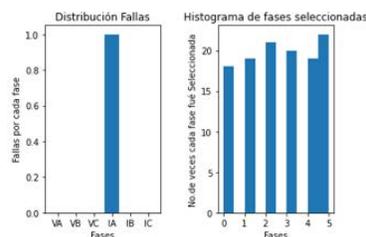


Fig. 8. Datos rango 4000-5000ms.

La consigna de prueba de este sistema establece que los valores de corriente superiores a 2000A y voltajes inferiores a 6000V, representan fallas, para ello se asigna el estado 1 a las señales bajo condición de falla y el estado 0 a las señales fuera del rango de falla, estos datos son almacenados

en una tabla, para ser procesados por el algoritmo MT. Los resultados de la evaluación realizada por el algoritmo MT a las mediciones de las señales cada 1000ms se muestra en las gráficas siguientes. En la Fig. 4 se observa que la fase A de voltaje (VA) muestra el mayor número de estados con falla del conjunto de datos para los primeros 1000ms y del histograma de fases seleccionadas se observa que el algoritmo MT seleccionó inteligentemente la fase asociada a un mayor número de datos en condición de falla, la misma conclusión se puede observar para otras fases de corriente o voltaje en las gráficas de las Fig. 5, 6, 7 y 8 en los diferentes rangos o ventanas de tiempo de las señales analizadas.

V. CONCLUSIONES

La prueba del algoritmo de Muestreo de Thompson desarrollado en Python se realizó bajo el formato de simulación fuera de línea. Primero se creó un archivo de datos equivalente a 5 segundos y luego el programa prueba el algoritmo cada segundo, generando resultados en los cuales se observa la detección de fallas en las diferentes fases de la red eléctrica. Se concluye que los datos generados por plataformas de simulación de sistemas de potencia como el OPAL-RT, pueden ser útiles para los estudios de aplicaciones de AM en el área de protección de sistemas de potencia.

VI. REFERENCIAS

- [1] A. von Meier et al., "Precision micro-synchrophasors for distribution systems: a summary of applications" IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID, VOL. 8, NO. 6 NOVEMBER 2017, DOI 10.1109/TSG.2017.2720543.
- [2] Python, "<https://docs.python.org/es/3/tutorial/>," *Biblioteca Python*, 2021. [Online]. Available: <https://docs.python.org/es/3/tutorial>.
- [3] J. Bélanger, P. Venne, J.-N. Paquin, "The What, Where and Why of Real-Time Simulation" Opal-RT Technologies, 1751 Richardson, suite 2525, Montréal,
- [4] D.-J. Russo, B. van Roy, A. Kazerouni, I. Osband, Z. Wen. "A Tutorial on Thompson Sampling"

Métricas de potencia y consumo en equipo computacional portátil bajo estrés mediante pruebas de desempeño

Power and consumption measurement for portable computing systems under stress loads via benchmarking software

Matías Ernesto Leandro Flores

Estudiante, Escuela de Ingeniería Eléctrica, UCR

correo electrónico: matias.leandro@ucr.ac.cr

Federico Ruiz Ugalde

Investigador, Instituto de Investigaciones en Ingeniería, UCR

Palabras clave:

Benchmarks, estrés computacional, fuente de poder ATX, potencia, robot humanoide.

Keywords:

Benchmarks, computational stress, ATX power supply, power, humanoid robot.

I. INTRODUCCIÓN

Una consideración importante en el diseño de sistemas computacionales portátiles para tareas de alto desempeño es la potencia y el consumo energético [1]. Obtener valores reales de potencia y consumo para condiciones de carga computacional cercanas al máximo es fundamental tanto para determinar la capacidad de potencia máxima continua que deben poder entregar la fuente de poder y la batería como para determinar el tiempo de autonomía mínimo. Determinar la capacidad máxima continua de la fuente de poder y la batería es importante para poder seleccionar la más adecuada fuente de poder, reduciendo su costo, peso y volumen [2], y para garantizar estabilidad de funcionamiento del sistema. La gran mayoría de hardware carece de infraestructura integrada para medir la potencia y el consumo del sistema con suficiente exactitud [3]. En este trabajo, se propone una metodología para colocar sistemas computacionales bajo estrés mediante software de pruebas estandarizadas de desempeño para poder determinar la potencia consumida de estos. Dicha metodología es ejecutada en la plataforma computacional del robot humanoide del ARCOS-Lab (*Autonomous Robots and Cognitive Systems Laboratory*). Así, se pretende crear condiciones elevadas de estrés en sistemas computacionales portátiles para medir la potencia y consecuentemente el consumo energético, automatizar la aplicación de pruebas de desempeño, o benchmarks, para el análisis energético, y establecer una manera de obtener métricas de potencia y consumo aplicando benchmarks y mediciones en las señales de alimentación de la fuente de poder.

II. AUTOMATIZACIÓN DE CARGA UTILIZANDO PRUEBAS DE ESTRÉS

En el laboratorio del ARCOS-Lab de la Universidad de Costa Rica se cuenta con un robot humanoide que corre en baterías de 48 V con una fuente de poder especializada (PSTC-48750), por lo que surgió la necesidad de elaborar pruebas de confiabilidad antes de poner bajo carga la fuente de poder. Para poner bajo carga un sistema computacional se aplicarán benchmarks estandarizados tanto individualmente como en paralelo mediante el programa de desempeño Phoronix Test Suite, automatizados con Python. Se aplicarán pruebas que estresen componentes de hardware esenciales de una computadora, entre estos la memoria RAM, el disco duro mecánico (HDD) y la unidad de estado sólido (SSD), la tarjeta gráfica (GPU), y la unidad de procesamiento (CPU). El Cuadro I muestra los benchmarks implementados en el sistema de prueba.

CUADRO I
BENCHMARKS A CORRER CON PHORONIX TEST SUITE PARA DISTINTAS PARTES DE HARDWARE

Prueba	Hardware	Prueba	Hardware
Ramspeed	RAM	Unigine Heaven	GPU
Stream	RAM	LuxCoreRender	GPU
MBW	RAM	RealSR-NCNN	GPU
FIO	Disco (HDD/SSD)	John the Ripper	CPU
Dbench	Disco (HDD/SSD)	Timed Linux Kernel Compilation	CPU
Unpacking Linux Kernel	Disco (HDD/SSD)	NAMD Cuda	CPU+GPU

III. MÉTODOS

Para obtener los valores de potencia y consumo la metodología general consiste en ejecutar un script de Python que corre varios “benchmarks” secuencialmente y luego ejecuta varios *benchmarks* simultáneamente. El objetivo del script es ‘cargar’ los diferentes componentes del sistema para generar diferentes cargas eléctricas en la fuente de poder. Antes del script se conecta un medidor de corriente directa de gancho conectado a un osciloscopio que permite medir el valor de corriente en cada línea de voltaje (12V, 5V, 3.3V, -5V, -12V) [4] para así determinar la potencia. Entre cada etapa el script espera a que el experimentador cambie el gancho de señal e indique que está listo. Iniciando cada benchmark el experimentador espera a que el nivel de corriente incremente hasta estabilizarse, anota el valor promedio de la señal y se espera a que el benchmark finalice para repetir el proceso en cada etapa del script. El pseudocódigo que describe este proceso es el siguiente:

```

for each voltage (12V, 5V, 3.3V, etc):
  exec Python script
  For benchmark from benchmarks:
    user connects measurement unit and instructs program to continue
    python script executes benchmark
    user waits until measured current stabilizes in new level and then\
      captures average current value from oscilloscope
    current benchmark finishes, python script continues

```

IV. CASO DE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se realizaron mediciones de corriente en la plataforma computacional bajo estrés del robot humanoide, en las líneas de suministro de 24+8 pines de +12 V y +5 V de la tarjeta madre y en el disco duro HDD. La tarjeta madre incluye la memoria RAM, CPU, la unidad SSD y el GPU. El Cuadro II muestra la corriente estable promedio registrada para cada benchmark y la potencia resultante en cada línea medida. En las líneas SATA Power 12V del HDD solo se ejecutaron las pruebas de lectura de disco.

CUADRO II

CORRIENTES ESTABLES REGISTRAS Y POTENCIA PARA CADA PRUEBA EJECUTADA

Prueba	24+8 ATX 12 V		24+8 ATX 5 V		SATA Power HDD 12 V	
	Corriente (A)	Potencia (W)	Corriente (A)	Potencia (W)	Corriente (mA)	Potencia (W)
Ramspeed	8,83	106,0	1,54	7,70	-	-
Stream	13,6	163,2	1,91	9,55	-	-
MBW	7,86	94,32	1,57	7,85	-	-
FIO	6,54	78,48	1,53	7,65	330	3,96
Dbench	8,29	99,48	1,56	7,80	270	3,24
Unpacking Linux Kernel	7,10	85,20	1,55	7,75	268	3,22
Unigine Heaven	11,5	138,0	1,54	7,70	-	-
LuxCoreRender	7,37	88,44	1,48	7,40	-	-
RealSR-NCNN	5,01	60,12	1,34	6,70	-	-
John the Ripper	8,71	104,5	1,55	7,75	-	-
Timed Linux Kernel Compilation	10,4	124,8	1,66	8,30	-	-
NAMD Cuda	11,7	140,4	1,61	8,05	-	-
Carga en paralelo	14,3	171,6	2,10	10,5	-	-
Sin pruebas	1,10	13,20	1,11	5,55	263	3,16

Las líneas de 12 V de 24+8 pines de la tarjeta madre presentaron el consumo de potencia considerablemente mayor (171,6 W) y las líneas de 12 V del HDD el menor consumo (3,96 W). La Fig. 1 muestra las diferencias en las potencias máximas para cada línea de voltaje.

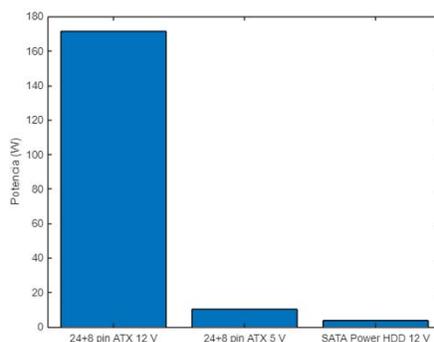


Fig. 1. Potencias máximas para las líneas de voltaje medidas.

Sumando las potencias en cada línea de voltaje durante cada prueba se obtuvo un consumo de potencia total para cada prueba. La Fig. 2 muestra la potencia total en las pruebas de mayor potencia de cada componente cargado. Las pruebas en paralelo consumen mayor potencia (185,26 W), seguidas por la prueba de memoria Stream (175,91 W). No se pudo medir todas las distintas líneas de voltaje de la fuente de poder, por lo que la potencia total obtenida de las líneas medidas no es igual a la potencia total de todo el sistema.

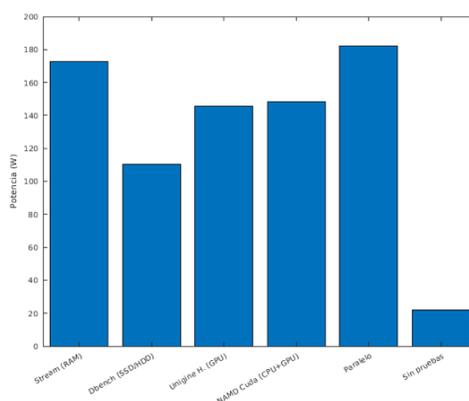


Fig. 2. Potencia total basada en las líneas medidas para las pruebas más demandantes de cada tipo de carga.

La Fig. 2 evidencia que el consumo de potencia sin pruebas (21.91 W) es considerablemente menor que poniendo al sistema bajo pruebas de estrés. Esto comprueba que se logró crear condiciones de estrés para obtener un consumo de potencia elevado mediante pruebas de desempeño. Así, se obtuvo métricas de potencia reales bajo cargas elevadas para un sistema computacional portátil automatizando la aplicación de *benchmarks*. Estas métricas pueden servir para un diseño eficiente de la fuente de poder y la estimación del tiempo mínimo de autonomía.

V. REFERENCIAS

- [1] R. Ge, X. Feng y K. Cameron, “Improvement of power-performance efficiency for high-end computing”, en 19th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium, 2005, DOI: 10.1109/IPDPS.2005.251.
- [2] E. Frachtenberg, A. Heydari, H. Li, A. Michael, J. Na, A. Nisbet y P. Sarti, “High-Efficiency Server Design”, en Proceedings of 2011 International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis, ‘ep. SC ’11, Seattle, Washington: Association for Computing Machinery, 2011, ISBN: 9781450307710, DOI: 10.1145/2063384.2063420.
- [3] B. Goel, S. A. McKee y M. Sjalander, “Chapter two - Techniques to Measure, Model, and Manage Power”, en ‘ep. Advances in Computers, A. Hurson y A. Memon, vol. 87, Elsevier, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396528-8.00002-X>.
- [4] Intel, Desktop Platform Form Factors Power Supply, Design Guide, Intel Corporation, jun. de 2018. [en línea]. Disponible en <https://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/design-guides/resellers-power-supply-design-guide-changes.pdf>.